



HAL
open science

Matières à produire l'espace : une histoire environnementale des grandes infrastructures depuis 1945

Nelo Magalhães

► **To cite this version:**

Nelo Magalhães. *Matières à produire l'espace : une histoire environnementale des grandes infrastructures depuis 1945*. Economies et finances. Université Paris Cité, 2022. Français. NNT : 2022UNIP7019 . tel-04861102

HAL Id: tel-04861102

<https://theses.hal.science/tel-04861102v1>

Submitted on 2 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Paris Cité
École doctorale 624 – Sciences des Sociétés
Laboratoire dynamiques sociales et recomposition des espaces (LADYSS)

Matières à produire l'espace.

Une histoire environnementale des grandes infrastructures depuis 1945

par

Nelo MAGALHÃES

Thèse de doctorat. Mentions : économie / histoire

sous la direction de Jean-Baptiste FRESSOZ et Thomas LAMARCHE

Présentée et soutenue publiquement le 8 novembre 2022.

Devant un jury composé de :

Sabine	BARLES	Professeure	Université Panthéon-Sorbonne	Rapporteure
Christophe	BONNEUIL	CNRS	EHESS	Examinateur
Robert	BOYER	Directeur d'études	Institut des Amériques	Examinateur
Jean-Baptiste	FRESSOZ	CNRS	EHESS	Co-encadrant
Agnès	LABROUSSE	Professeure	Science Po Lyon	Rapporteure
Thomas	LAMARCHE	Professeur	Université Paris Cité	Directeur

Rebelotte

Comme à un mariage, sont réunies à une soutenance de thèse des sphères sociales qui jamais ne se croisent, jamais ne s'étaient croisées et jamais ne se recroiseront – sauf à se marier-soutenir deux fois. Sphères professionnelle et familiale, différentes sphères amicales, se mélangent. Moment suspendu après la déclaration performative – “nous vous déclarons docteur” : l'étudiant que j'encadrais discute avec ma mère, qui l'interroge sur ma bienveillance, mon père trinque avec le président du jury, un ami se plonge dans le manuscrit, amusé par un document qui n'a pour lui pas beaucoup de sens, mon amie dort dans un coin et rêve de gâteaux et fromages, les titulaires retrouvent quelques collègues perdus de vue, les amis thésards pensent à leur future soutenance qui approche (ou à leur soutenance passée), les danseurs attendent la boum, les assoiffés le bar. Certains codes ont sauté. Car, rituel oblige, il y a des codes, très spécifiques au milieu académique, dans une cérémonie de soutenance¹ : les non-initiés respectent religieusement les silences imposés et attendent le moment des applaudissements, on leur a expliqué qu'ils n'étaient pas immédiats après la défense du jubilé (*ne pas applaudir entre les mouvements d'une symphonie !*), ils observent les discussions à bâtons rompus, craignent qu'une critique radicale déstabilise publiquement l'orateur, ou redoutent que l'explication vigoureuse de leur protégé lui fasse perdre des points dans l'estime du jury ; ces non-initiés espèrent que “tout se passe bien”, en somme, et scrutent les attitudes des juges, et de personnes qui seraient susceptibles d'être des chercheurs, ils scrutent, donc, le ton, le regard, les postures des uns et des autres – entre le soupir du premier, le sourcil qui se lève du second, le regard amusé du troisième, le marbre glacial du quatrième – à la recherche d'un signe indiquant si le manuscrit et la prestation orale sont jugés bons ou mauvais, etc. Comment savoir ces choses là ? Pas de panique : la soutenance est une pièce codifiée, les joutes verbales sont acceptables et acceptées – et même réjouissantes lorsque les deux parties s'accordent pour déceler collectivement les percées et les angles morts du manuscrit. Que les non-initiés se rassurent pour une autre raison : l'humiliation publique est rarissime car le jury aura toujours la courtoisie d'inventer les compliments, certains farfelus, par pitié pour le jubilé et ses proches, afin que tout le monde trouve le sommeil le soir venu, et les autres soirs d'ailleurs, de sorte que toute soutenance est, et doit être, *in fine*, une célébration. Personne ne connaît cette “vraie valeur”, ni du travail ni de la soutenance, quoi qu'en dise le jury sur son originalité, sa maîtrise du sujet, etc. La “vraie valeur” ne vient jamais qu'avec le temps, quand une convention se stabilise sur la qualité. Si le verdict, à long terme, est que

1. Georges Duby s'en souvient : “Soutenir une thèse de doctorat ès lettres consiste à se présenter cérémonieusement devant cinq ou six mandarins juchés sur une estrade, à déposer sur la petite table où l'on s'assied, deux, trois, voire quatre épais volumes, à en résumer brièvement le contenu, anxieux, redoutant la question qui vous désarçonnera, tournant fébrilement dans sa tête d'éventuelles réponses que l'on souhaiterait élégantes et futées, puis à écouter tour à tour chacun de ces juges qui, savourant la revanche qu'ils prennent ce jour-là sur la jeunesse enfuie, s'évertuent à briller devant l'assistance aux dépens du candidat, cherchant les failles d'un texte qu'ils ont généralement lu, il faut le dire, attentivement, et qui, s'ils n'en trouvent pas, rabattent leurs critiques sur la « forme » ou sur les lacunes de la bibliographie, enfin, au terme d'une après-midi interminable, à s'entendre, dans un brouillard de fatigue, déclaré docteur et à offrir alors à boire aux camarades. Il s'agit là d'un rite initiatique assez cruel, au bout de quoi l'« apprenti » ayant présenté son « chef-d'œuvre » est reçu parmi les « maîtres ». J'emploie à dessein le vocabulaire des corporations médiévales, car leurs usages se sont de nos jours conservés mieux que partout ailleurs dans ce milieu éminemment conservateur et routinier qu'est l'université.” G. Duby, *L'Histoire continue*, Odile Jacob, 2010, p. 83-84.

tout cela ne vaut pas grand chose, peut-être “rien”, le docteur, qui s’excuse à l’avance auprès de l’assistance d’avoir fait le déplacement pour “rien”, spéculant qu’il a été mal compris et mal lu, pourra se rassurer en se remémorant les honneurs *post mortem* de certains illustres travaux ou, c’est plus simple, se rappeler que de toute façon la vie est ailleurs – et rire aux éclats, car il l’a toujours su.

La soutenance se conclut par le toast. Celui-ci est parfois si normé, “merci monsieur tralali et madame lalère sans qui je ne serais rien”, que l’on peine à comprendre ce qui a compté subjectivement pour le docteur – monsieur et madame tralalilalère étaient-ils des tyrans ou de merveilleux soutiens ? Timide, laconique, solennel, crypté, humoristique : difficile de choisir son ton face à la pression sociale. Adeptes des excès, et comme c’est un bonheur de mettre en exergue le caractère collectif de ce travail, je souhaiterais qu’il soit jubilatoire. C’est qu’il me semble qu’il y a quelque chose de spécifique à remercier publiquement lors d’un rituel, comme si la valeur des mots était décuplée par rapport aux conversations privées. Comme il se pourrait bien que ce soit la fin d’un cycle ininterrompu de seize années d’études supérieures, commencé à Bruxelles le 1er septembre 2006, il y aurait une foule entière à remercier. Disons, pour faire court, que tous les nominés du toast de 2015 sont inscrits *de facto* sur la liste, puisqu’il a fallu passer par 2015 pour atteindre 2022.

Je remercie l’EHESS, où j’ai rencontré tout mon jury lors de mon M2 en 2016-2017 (à l’exception de Sabine Barles), d’accepter dans son antre des spécimens comme moi, sans licence ni bagage aucun en sciences sociales. Je remercie mes encadrants² pour leur confiance et leur engouement permanents, alors même que j’avais parfois l’impression de dériver sans cap bien défini, et pour m’avoir offert une liberté fabuleuse, qui s’est avérée indispensable au vu de ma démarche erratique. Je suis très fier, inspiré et honoré par mon jury : plus que d’être lu, c’est d’être bien lu et critiqué par des chercheurs et chercheuses exigeants, et que j’estime, qui me flatte et me réjouit. Merci beaucoup à mes rapporteuses : Sabine Barles, dont je me sentais complice sans la connaître, puisque je découvrais, au fil des mois, que presque toutes mes réflexions faisaient écho à sa formidable production académique ; Agnès Labrousse, qui inspire celles et ceux qui la connaissent pour son éthique et sa rigueur, qui a suivi et soutenu mon évolution depuis mes premiers pas dans les sciences sociales. Je remercie Robert Boyer, dont la générosité intellectuelle et l’enthousiasme sont difficiles à égaler. Je me souviens d’un précieux conseil-avertissement de novembre 2016, que j’espère avoir fidèlement suivi : s’inscrire pleinement dans les sciences sociales et ne pas lésiner sur le long travail empirique³. A la même période, j’ai vécu une épiphanie, comme d’autres sans doute, au séminaire sur l’Anthropocène de Christophe Bonneuil (Jean-Baptiste prenait une année sabbatique). En deux heures, dans un rythme qui me paraît hallucinant tant je suis stimulé intellectuellement, Christophe me fait découvrir l’existence de l’histoire environnementale, de l’histoire globale, des études métaboliques, etc. Ça décoiffe et me fait bifurquer – je change dans la foulée de sujet de mémoire, de perspectives de recherche, etc. L’affirmation est douteuse et simpliste, mais je pense, avec le recul, que c’est le point d’origine de toute cette thèse. Entre autres coups de pouce, et je peux témoigner que mon cas n’est pas isolé chez les jeunes chercheurs,

2. Au moment d’imprimer le manuscrit, l’institution académique m’a piteusement tapé sur les doigts, m’intimant de retirer le titre de directeur à Jean-Baptiste. Disons que mes directeurs sont des encadrants.

3. Ce soir-là, après une de ses présentations, nous avons prolongé la discussion autour d’un verre dans un café en face de la MSE. Qu’il accorde de l’intérêt et du temps aux maigres idées et intuitions d’un jeune bétotien en dit long sur son ouverture d’esprit et son désir de transmission.

j'ajoute que Christophe a financé, au travers d'un fonds qu'il avait reçu, une partie du travail d'archives du tout début de cette thèse – alors même que Pôle emploi se montrait menaçant.

Ma réflexion doit beaucoup aux discussions avec de nombreux collègues : outre mon jury, je voudrais mentionner Jean-Baptiste Bahers, Louison Cahen-Fourot, Cédric Durand, François Jarrige, Margot Lyautey (sœur de thèse du premier jour au dernier !), et mes très nombreux co-auteurs. Je remercie les organisateurs et organisatrices de colloques, séminaires, journées d'étude, qui m'ont invité plus de 25 fois à présenter mes recherches, à des publics très divers. Un immense merci aux copines et copains de l'AFEP, de l'AMIES, du LADYSS, du CEPN et de l'EHESS – avec qui j'ai partagé bien plus que le goût aigre-doux du précarariat ou l'étrange expérience de rat de bibliothèque.

Cette recherche a été rendue possible par un ensemble de conditions matérielles relativement favorables pour ce qui me concerne – un aspect souvent négligé, alors même que le milieu est marqué par une impressionnante et déplorable précarité. Je remercie les financeurs – un contrat doctoral, le chômage (Pôle Emploi, numéro un du classement de Shanghai ?) et un contrat d'enseignement –, ainsi que les anonymes pirates qui promeuvent la science gratuite. Étant incapable de rédiger chez moi comme au bureau, tout le manuscrit doit à mes hébergeurs : Hannah et Evan à Condorcet, ma mère, une cabane, William, les bibliothèques publiques (BNF, BPI, Jussieu, École des Mines, Muséum National d'Histoire Naturelle, Vieille Charité), et surtout Sylvain pour l'incalculable accueil dans sa bibliothèque de Babel. Je salue le précieux travail des personnels divers de toutes ces institutions, ainsi que les secrétaires – à qui le monde académique doit beaucoup – qui m'ont guidé dans les méandres kafakâiens des administrations. Je suis très reconnaissant envers mes courageux relecteurs et relectrices, qui d'une première version, qui d'un chapitre définitif : Renaud Bécot, François Jarrige, Mathieu Maguet (que je remercie encore pour son aide précieuse pour la figure 3), Marianne Molter, Gabriel Tatibouet et Aphirom Vongkingéo.

Enfin, vient la partie la plus difficile à identifier et à nommer : tout ce qui contribue à vivifier les sens, ou désentrister les journées moribondes. Salut à vous les joyeuses et joyeux cuivrés de la fanfare éphémère, les camarades des manifs-lacrymos, les amateurs de LSD (et les 250 romans), les croisiéristes du CROUS, les losers du foot du dimanche, les joggeurs et grimpeurs de confinement, les motivés de la Gare du jeudi soir, écorché.e.s en tout genre, tous et toutes qui ont participé aux longues escapades en plein air et surtout les frères de cordée, de crampons, de piolets et de ski de randonnée, avec qui je partage sommets, hélicos, grandes frayeurs et petites nuits. En particulier : Antoine, Basile, Evan, Gaby, Hannah, Jonas, Maëlle, Mahaut, Margot, Marion, Marina, Paul, Simon, Timothée, William, Yann, Yvan. Merci à toi mon frère pour les virées magiques, du Nord au Sud des Amériques, et ta géniale poêlée de champignons au beurre, merci à Karen et mon filleul Xavi, pour sa joie lorsqu'il étale des épinards sur (toute) sa figure. Merci à toute ma famille transatlantique (belge, brésilienne, étatsunienne) pour ce vent régulier et chaleureux que je sens dans le dos. Merci à toutes et tous de supporter ma sempiternelle intranquillité, et les tourbillons de ma vie – dépité ou amusé, on dira : “deux thèses et toujours aussi paumé, hein”. Merci éternellement à toi, Aphi, pour tant de petites merveilles et grands ravissements – oh ! les beaux jours.

La bétonite

« *Moi je lui dis ... laisse béton ...* »

Un communiqué d'une agence de presse auquel personne ne prête attention. Quelques morts, une poignée tout au plus, déclarés dans une contrée lointaine – tout est sous contrôle. Des cas suspects rapidement minimisés, voire dissimulés. Une propagation douce, que le gouvernement concerné pense pouvoir arrêter. Ailleurs, sentiments d'inquiétante étrangeté et de méfiance dominant – après tout, la censure est courante dans ce pays. Stupéfaction après les toutes premières études de laboratoire : le virus, puisqu'il s'agit bien de cela, s'avère être une mutation particulièrement contagieuse, et se transmet par aérosols. Deux mois à peine après le premier communiqué, l'épidémie devient pandémie, soutenue par la mondialisation des transports. La panique est palpable chez les dirigeants quand surgissent les premiers cas en Occident. Les mesures impressionnent : traque des habitants ayant voyagé dans le pays foyer, décontamination de tous leurs biens, recensement des cas contacts, contrôles aux frontières stricts, quarantaines. Rapidement, certains États, au travers de conseils nationaux restreints bien peu démocratiques, décident de confiner leur population pour freiner la diffusion du virus. Sidération générale. Après l'allocution télévisuelle du président de la République, qui annonce cette décision, les commentaires et spéculations explosent entre amis, entre collègues et dans les familles. La "marche du monde" contrainte de s'arrêter. Un ministre français déclare : "nous sommes à la veille d'une guerre immense, planétaire", une guerre "insidieuse, souterraine, diabolique". La mobilisation est totale : tous les professionnels concernés sont amenés à collaborer pour stopper la pandémie, les usines doivent fabriquer massivement du décontaminant, l'armée est appelée au secours, et des milliers d'immeubles sont désinfectés par des dizaines de milliers de travailleurs. Les journalistes pourchassent les biologistes et autres experts dans leur entourage : "tout ce monde se téléphonait, se rencontrait, échafaudait des hypothèses d'une imagination débridée". Chacun cherche un indice pour se rassurer : quelques optimistes remplissent cette fonction et pronostiquent que tout sera réglé dans trois mois – six tout au plus. Alors que les autorités prennent "la précaution de distiller une information propre à minimiser les risques immédiats", le "caractère insolite de la proclamation produit un effet inverse au but recherché" : des populations fuient les villes, dont toutes les sorties sont "encombrées de véhicules surchargés de gens et de bagages" ; les bourgeois retrouvent leur maison de campagne, pour une durée indéterminée. Les mêmes scènes semblent se répéter sur chaque continent. L'affect est mondial – moment suspendu pour des milliards d'humains. Américains, Européens et Asiatiques s'abandonnent "à une peur contagieuse, accentuée par l'annulation de tous les vols". Les pays les plus riches établissent des ponts aériens pour rapatrier leurs ressortissants coincés à l'étranger – quelques citoyens s'émeuvent du risque d'importation de la maladie. L'impréparation est totale et la tension va *crescendo*. Le ton des pouvoirs publics devient dramatique : "on ne peut prévoir les conséquences ultimes ; tous les hommes sont menacés dans leurs biens, leur mode d'existence, leur santé et leur vie". Les décideurs sont tout à la fois hébétés – "jamais, non jamais, je me suis trouvé devant une si petite chose menaçant à ce point de troubler l'ordre public et d'ébranler les fondements mêmes de notre société" – et intéressés – comme "chaque citoyen était condamné à la docilité, on s'aperçut, dans les sphères supérieures du pays, que cette situation complètement aberrante deviendrait pain bénit pour qui saurait prendre en main une population parfaitement

captive”. Les hallucinations s’accumulent : de strictes restrictions des libertés ; des recherches sur les origines du mal qui patinent (“il nous faut comprendre et trouver un remède au plus vite, mais cela risque de prendre du temps, beaucoup de temps”) ; des décomptes morbides établis par les médias sur le nombre quotidien de victimes ; la parole des savants contestée par des citoyens-enquêteurs ; des débats nouveaux saturent le quotidien (sur la géométrie du virus, le temps d’incubation, les températures qui lui sont favorables ou défavorables, etc.) ; la France séparée en zones selon l’intensité de la circulation du virus ; la relation par visioconférence qui devient la norme ; des vacances d’été nécessairement intranationales ; une course au vaccin ; des réflexions philosophiques et éthiques pour imaginer un “monde d’après” qui soit meilleur que le “monde d’avant”. La pandémie s’éternise : confinements, espoirs confus, déconfinements, nouveau variant, reconfinements, déconfinements, etc. Des vagues et des vagues, souvent cauchemardesques, à n’en plus finir. Le lendemain de la première allocution présidentielle, la “une” de journaux comme *L’Humanité* ou *Le Figaro* affichent un même mot, certains parlent de la “naissance d’une forme d’union sacrée” : *bétonite*.

Voilà l’actualité des années 1992-1994 telle que présentée dans le roman d’anticipation, *La Bétonite*^{iv}. Le virus en question, nommé *Bêta*, n’affecte pas les corps humains, mais le béton, ou plutôt le ciment qu’il désagrège en poussière rouge – laquelle va contaminer d’autres ciments, grâce aux divers moyens de transports (vents, humains, véhicules). Il ne provient pas d’un marché à Wuhan, à ce stade l’hypothèse principale (mais contestée) pour le virus du Covid-19^v, mais d’une petite ville fictive d’Arabie Saoudite^{vi}. Le roman décrit les conséquences sur la structure de la société du retrait, comme dans un jeu de *Jenga*, d’une seule pièce qui la constitue. Outre qu’il saisit remarquablement bien un épisode pandémique^{vii}, cet exercice de pensée résonne particulièrement avec notre travail de thèse.

Ce qui frappe en premier lieu dans ce livre, c’est l’omniprésence du béton de ciment^{viii} dans le bâti^{ix} : “le volume des *Bêtas* est du même ordre de grandeur que celui du ciment qui a été nécessaire à la construction [...] de quoi contaminer la Terre entière” dit un personnage. La *bétonite* démolit l’intégralité de l’environnement bâti en béton, donc pratiquement toute l’infrastructure du “monde moderne” – immeubles, routes, ponts, aéroports, ports, châteaux

iv. Premier roman de Charles Defontaines. Toutes les citations en sont issues : C. Defontaines, *La Bétonite*, Paris, Hachette, 1988.

v. Quel sens prendra ce prologue pour le lecteur d’un futur lointain – histoire ancienne ou expérience quotidienne ? Qu’il sache qu’en 2020-2022, quand l’essentiel de cette thèse a été rédigé, ces événements constituent le quotidien de centaines de millions de personnes. Le roman, enfoui dans une grande caisse de livres d’occasion, a été acheté (un euro) en septembre 2020 – le lendemain, j’étais contaminé par le coronavirus.

vi. La situation est assez réaliste : le personnage principal travaille en Arabie Saoudite pour une multinationale française du BTP (nombreuses au Moyen Orient dans les années 1980).

vii. Depuis le nom du virus qui, comme les variants du Covid-19, est désigné par une lettre grecque, aux débats médiatiques en passant par les craintes et réflexions des citoyens, ou les cycles de diffusion de la pandémie. A cet égard, les périodes sont très similaires à ce que nous connaissons depuis le tournant de 2020 : un virus qui se déclare en janvier et les premières inquiétudes en février dans le pays d’origine, un remède après environ un an (en France la pandémie de *bétonite* va de mai 1992 à octobre 1994, lorsque le “vaccin”, qui apportera deux prix Nobel à son inventrice, est prouvé efficace).

viii. Le béton se définit comme un mélange de granulat (sable et gravier) avec un liant et de l’eau. Un béton bitumineux (comme l’asphalte) est un béton avec le bitume comme liant. La terre est un béton d’argile.

ix. Il sous-estime la terre crue (qui est à la base du pisé, de l’adobe, etc.) qui domine dans de nombreux pays du Sud Global. Pour partie du fait des chantiers du Grand Paris, elle revient en force dans l’actualité (exposition “Terres de Paris” en 2017 au bassin de l’Arsenal ; projet “Cycle Terre” ; nombreuses thèses), au point d’être investie par les groupes cimentiers.

d'eau, centrales électriques, silos, canalisations, etc. Au-delà de l'hégémonie du béton, le livre repose sur le constat que la solidité, ou rigidité, tient presque exclusivement au ciment qui sert aussi à toutes les fondations qui supportent le bâti en surface. Si aujourd'hui une certaine attention médiatique met en lumière l'extraction vertigineuse de sable, rien ne tient sans ciment. S'il se délite, tout s'effondre immanquablement – *Jenga* !

Ce qui est déroutant, si on décolle le nez du livre^x, c'est d'observer qu'une chaîne de causalité *a priori* non-humaine, entre les virus et les ciments, est capable de démolir toute la société et toute l'économie. Du non-humain vient percuter du non-humain, et c'est tout le "social" qui en pâtit^{xi} ! L'exercice de pensée nous fait voir ici que la *bétonite* ne s'attaque pas qu'à la matière, mais aux rapports sociaux – ou qu'une solidarité existe entre structures matérielles et structures sociales. Dès le début, et pendant toute la durée de l'épidémie, les dirigeants associent, à leur façon, le béton et les structures sociales historiques – "Tout ce qui a été construit en béton peut disparaître; cela nous ramène en arrière de ... combien ? soixante ans ... ? un siècle ? Et la société aura très peu de temps pour se réadapter"; "la société devra en quelques mois revenir à des habitudes ancestrales. Il est facile de s'habituer au progrès, saurons-nous nous accommoder d'une régression ?"; "c'est une véritable catastrophe qui, en détruisant le béton, a sapé l'ossature même de notre société, les structures de notre existence". La crise, qui est en première lecture *intégralement* matérielle, est aussi *intégralement* sociale, au sens où les rapports sociaux fondamentaux entrent en crise, c'est-à-dire sont radicalement chamboulés. Outre que des secteurs entiers sont définitivement inutilisables et inutiles, comme l'armement (de ce point de vue, le virus sauve des milliers de vie explique un protagoniste), que des dangers urgents surgissent (le devenir des centrales nucléaires devient immédiatement préoccupant), il montre bien que toutes les structures sociales sont modifiées par la disparition d'infrastructures matérielles, en à peine quelques mois. Dans le livre, plus le ciment se délite, plus les institutions centrales de l'ordre social sont fragilisées. Le temps de travail est sensiblement diminué, le code du travail est abandonné (et par suite une bonne partie du salariat), la monnaie est gelée (pratiquement abandonnée), l'éducation réorientée pour les besoins reconnus essentiels de "l'après-*bétonite*", l'État est sur le point de disparaître (une décentralisation radicale est décrétée par le président lui-même), la concurrence marchande n'a plus lieu d'être, l'auto-gestion est développée dans toutes les campagnes, le commerce international (voire interrégional) s'est arrêté, les médias disparaissent, etc. Toutes les pratiques sociales sont sensiblement changées : des régimes alimentaires, aux modes de chauffage, d'habitat (une "cohabitation" des ménages est obligatoire puisque les logements sont majoritairement détruits), l'apparition de nouvelles solidarités, les changements de mobilité (le vélo, notamment pour s'informer dans les communes voisines, et surtout la marche à pied sont réhabilités), le développement d'éoliennes familiales (dont les bénéficiaires s'habituent rapidement à l'intermittence), etc. L'heuristique de la crise marche à plein régime : les effets de la rupture révèlent comment et à quoi les choses tenaient. Avec les premiers travaux de reconstruction sans béton, des inventions techniques sont expérimentées avec d'autres

x. L'image du ciment comme pilier de la société reste finalement de sens commun – le ciment intègre certainement ... "ce qui fait le ciment d'une société".

xi. Cette phrase est, en toute rigueur, fautive : toute la chaîne de causalité est parcourue par des humains et tous leurs rapports sociaux. L'origine du *Bêta* est un hybride (humain et non-humain) par excellence puisqu'il s'agit de l'assemblage d'une bactérie, d'une "poussière interstellaire" et d'un grain de ciment réunis "sous une goutte enveloppée d'une mince pellicule de pétrole" (sic).

matériaux (chaux, paille, bois), la réparation de bâtiments endommagés est développée, et la récupération de matériaux de démolition devient l'évidence même pour des millions de Français. Dans les débats sur les qualités souhaitées de la société future, qui se glissent entre des périodes de démolition et reconstruction, apparaît le lien entre la production d'espace et l'organisation sociale. En effet, privés des infrastructures qui assurent la circulation des flux de marchandises, les héros développent leur propre pratique spatiale, qui répond à leurs besoins (alimentation, énergie, mais aussi besoins ludiques ou esthétiques). Si la fin du béton fait prendre conscience aux agents du besoin de nouvelles relations, si elle modifie durablement les rapports sociaux, elle ne conduit pas mécaniquement à l'harmonie. Outre les milliers de sans-abris, la destruction des égouts et canalisations provoque successivement un manque d'eau potable, une épidémie de dysenterie, une autre de choléra, des émeutes dans Paris, et jusqu'à un coup d'État militaire. Le récit évite le piège du fonctionnalisme ou de la fétichisation du béton, c'est-à-dire le béton comme strictement solidaire de certains rapports sociaux, et conserve l'incertitude radicale sur les contours des nouvelles institutions.

Le livre s'achève par la découverte d'un vaccin (dont la présentation se fait sous un chapiteau à Paris) qui annonce une reconstruction nationale menée à très vive allure ... grâce au redémarrage de l'industrie cimentière. En se restreignant à un niveau éthique et moral, sans rapports de pouvoirs et de dominations, la conclusion pêche par naïveté. L'intérêt général s'impose dans la société nouvelle ; les idéologies et les luttes politiques disparaissent, ainsi que les armées ; l'homme nouveau ne cherche plus "l'avoir" mais "l'être" (sic) ; alors que le monde d'avant était caractérisé par "l'égoïsme de l'avoir", le monde d'après, grâce au virus qui a obligé les humains à une solidarité inouïe, cherche la générosité qui permet à l'humanité d'accéder à un degré supérieur car elle est indispensable pour "être plus" (sic). Pourtant, si le logement est construit en tenant compte des besoins des occupants, avec davantage d'autonomie accordée aux citoyens-constructeurs, si le mot d'ordre est d'être plus économe en ciment, si les écoles sont redimensionnées, si un nouveau mode de scrutin est établi et le pouvoir des élus locaux largement renforcé au détriment de l'État central, les grandes infrastructures (ports, aéroports, voies de communication) sont reconstruites en priorité, en béton et à l'identique.

L'exercice de pensée fournit une intuition méthodologique : puisque la soustraction d'une matière à l'économie mondiale la détruit entièrement, c'est que son rôle ne se réduit pas à celui d'une "ressource naturelle" dont il s'agirait de mesurer le poids monétaire ou l'impact environnemental^{xii}. Le social (*a fortiori* l'économie) est pleinement matériel, bien au-delà des usages sociaux que les humains font des matières. La grande vertu du livre est de nous révéler que le bâti en béton n'est ni immuable – même sans *bétonite*, le béton ne dure pas plus d'un siècle – ni un cadre extérieur à l'ordre social et aux rapports sociaux. S'il est naturalisé par les habitants du fait de sa présence massive dans leur espace vécu, sa désagrégation rappelle qu'il est le fruit d'une certaine production d'espace, donc qu'il a une historicité. Alors que la dépendance mondiale au béton et aux grandes infrastructures s'est nettement accrue par rapport à 1988, année de publication du roman, c'est cette histoire que nous souhaitons éclairer dans cette thèse.

xii. Nous pensons bien sûr aux économistes qui conçoivent abstraitement le ciment (ou toute autre matière, quasiment séparée du social) au travers de son "poids" monétaire, ses emplois ou son CO2.

Abréviations

Les plus fréquentes

Les abréviations sont précisées dans le texte. Voici les principales :

- Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie [ADEME]
- Association Internationale Permanente pour le Congrès Routier [AIPCR]
- Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets [ANRED]
- Aménagement du Territoire [AT]
- Association Technique de la Route [ATR]
- Bureau de Recherches Géologiques et Minières [BRGM]
- Bureau d'Informations et de Prévisions Économiques [BIPE]
- Bâtiment et Travaux Publics [BTP]
- Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques [CERILH]
- Commissariat Général au Développement Durable [CGDD]
- Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable [CGEDD]
- Conseil Général des Ponts et Chaussées [CGPC]
- Direction à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale [DATAR]
- Direction Départementale de l'Équipement [DDE]
- Direction des Routes (et de la Circulation Routière) [DR(CR)]
- Écologie Sociale [ES]
- Électricité de France [EDF]
- École Nationale des Ponts et Chaussées [ENPC]
- Fédération Nationale des Travaux Publics [FNTP]
- Fédération Nationale des Transports Routiers [FNTR]
- Grave-laitier [GL]
- Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité [IDDRIM]
- Île-de-France [IDF]
- Laboratoire Central des Ponts et Chaussées [LCPC]
- (Ligne) (Train) à Grande Vitesse [(L)(T)GV]
- Laitier de haut-fourneau [LHF]
- Laboratoire Régional de l'Est Parisien [LREP]
- Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées [LRPC]
- Nord – Pas-de-Calais [NPdC]
- Organisation de Coopération et de Développement Économiques [OCDE]
- Organisation du traité de l'Atlantique Nord [OTAN]
- Route Nationale [RN]
- Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes [SETRA]
- Société nationale des chemins de fer français [SNCF]
- Société pour la Protection des Paysages (et de l'Esthétique) de la France [SPP(E)F]
- Théorie de la Régulation [TR]
- Union Nationale des Industries de Carrières et Matériaux de Construction [UNICEM]
- Union Nationale des Producteurs de Granulats [UNPG]
- Union Routière de France [URF]

Noms et abréviations des périodiques

Voici la liste des revues, avec leur changement de noms au cours du temps. Entre crochets, le titre que nous avons (parfois arbitrairement) conservé pour les désigner pour simplifier la présentation. Le titre est conservé lorsqu'il n'y a pas de crochet. Les commentaires sur ces sources sont dans l'annexe A.

- Aménagement et Nature
- Annales de la Voirie / Annales de la Voirie et de l'environnement / La voirie et l'environnement / L'environnement magazine [Annales de la Voirie]
- Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics [Annales ITBTP]
 - série béton, béton armé [BBA]
 - série liants hydrauliques [LH]
 - série matériaux [M]
 - série questions générales [QG]
 - série sols et fondations [SF]
 - série travaux publics [TP]
- Annales des Chemins Vicinauxⁱ [Annales CV]
- Annales des Mines
- Annales des Ponts et Chaussées [Annales PC]
- Bâtir / Le bâtiment - bâtir [Le bâtiment - bâtir]
- Bulletin d'information du Centre National pour l'Exploitation des Océans [Bull. CNEXO]
- Bulletin de la Fédération nationale du bâtiment et des travaux publics / L'Entreprise française [L'Entreprise française]
- Bulletin de la Société pour la protection des paysages de France / Sites et Monuments [Sites et Monuments]
- Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées [Bull. liaison]
- Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur [Bull. AIGI]
- Bulletin du BRGM
- Bulletin du PCM [PCM]
- Informations sociales
- Journal de la société statistique de Paris
- La Construction Moderne
- La Houille Blanche
- La route en
- L'Équipement mécanique des mines, carrières et grandes entreprises / L'Équipement mécanique / L'Équipement mécanique des chantiers / L'Équipement mécanique, carrières et matériaux / Carrières et Matériaux [L'Équipement Mécanique]
- Le Ciment. Son emploi et ses applications nouvelles / Le Ciment [Le Ciment]
- Le Génie Civil
- Le Granulat
- Le Moniteur des travaux publics et du bâtiment [Le Moniteur]
- Le Peuple
- Le Prolétaire

i. Ce journal devient *Annales de la Voirie*. Nous avons toutefois dissocié leurs noms car la rupture temporelle est grande – il n'apparaît pas de 1940 à 1960.

-
- Le Terrassier
 - Les Grandes Industries de France
 - Matériaux de construction et produits de carrières / UNICEM Magazine / UNICEM-MAG [UNICEM]
 - Matériaux et constructions
 - Nouvelles de la circulation routière [NRC]
 - Revue de l'industrie minérale / Industrie minérale, mines et carrières / Mines et Carrières [Mines et Carrières]
 - Revue de Métallurgie
 - Revue des matériaux de construction et de travaux publics / Revue des matériaux. Ciments et bétons / Ciments, bétons, plâtres, chaux. Revue des matériaux de construction / Ciments, bétons, plâtres, chaux [Revue des matériaux]
 - Revue française de géotechnique [RFdG]
 - Revue générale de chemins de fer
 - Revue générale des routes et de la circulation routière / Revue générale des routes et aérodromes / Revue générale des routes / Revue générale des routes et de l'aménagement [RGRA]
 - Formation Continue [FC]
 - Formation Permanente [FP]
 - Revue juridique de l'environnement
 - Rhône Alpes Méditerranée / Chantiers de France [Chantiers de France]
 - Routes et carrières
 - Science et Industrie / Travaux [Travaux]
 - supplément La Route [LR]
 - Tarmacadam / Laitiers et Tarmacadam / Laitiers de hauts fourneaux / Laitiers sidérurgiques [LS]
 - Technique de l'Ingénieur
 - Terrassements / Terrassements & carrières [Terrassements & carrières]

Table des matières

Remerciements	3
<i>La bétonite</i>	7
Abréviations	11
Table des matières	15
Table des figures	17
Une histoire pesante	21
I Cheminements et dérives d'une recherche	21
II Enjeux et pas de côté	24
III Analyse institutionnaliste et production d'espace	33
IV Infrastructures	41
V Méthodologie	47
VI Exigences de la production d'espace	59
1 Extractivisme ordinaire	63
1.1 Matières de l'espace, espaces de la matière	63
1.2 Caractéristiques de l'extractivisme ordinaire	69
1.3 L'aménagement en creux sous tension	83
1.4 Politiques d'aménagement des espaces cachés	105
1.5 Pourtant, ça extrait	123
2 Mouvements du facteur terre	127
2.1 Terrasser une matière invisible	127
2.2 La production d'espace comme Capitalocène	134
2.3 Machines et cadences	146
2.4 Traces socio-écologiques	160
2.5 Production d'invisibilités – fin du paradoxe	176
2.6 Terrasses et terrassements	182
3 Stabiliser la production d'espace	185
3.1 Sphère instable	185
3.2 Stabiliser les milieux	189
3.3 Stabiliser les sols et les fondations	206
3.4 Une autre histoire du ciment	224
3.5 Les génies et le désencastrement	239

4	Entretien, extension et verrou du capital	243
4.1	Maintenance et extension des espaces produits	243
4.2	Une démonstration infaillible	248
4.3	Coûteux renforcements	263
4.4	Adaptation au Fordisme	275
4.5	Sentier des dépendances – héritages et verrous	289
4.6	Renforcer les structures sociales	297
5	Valorisation des déchets et inertie de la production de l'espace	301
5.1	La production comme libération de l'espace	301
5.2	Problèmes géo-historiques	308
5.3	Inéluctable dégradation des valorisations	327
5.4	Vers un problème de stocks	342
5.5	La valorisation n'est pas le débat	359
	Conclusions	363
	Bibliographie	375
	Annexes	423
A	Commentaires sur les sources	423
B	Quantifier une matière invisible	435
C	Poids des routes	457
D	Déchets	459
	Résumé	472

Table des figures

1	Comparaison des grandes extractions en France au XXe siècle	22
2	Centralité des stocks dans les dynamiques des flux	27
3	Le métabolisme des infrastructures considéré dans cette thèse.	49
4	Budget des laboratoires des Ponts et Chaussées (1962-1969)	52
5	Exigence de la FNTP dans sa revue <i>Travaux</i> (1983)	57
1.1	Extraction de granulat en France (1948-2018)	69
1.2	Extraction de granulat de roches dures et meubles	71
1.3	Illustration de l'extractivisme ordinaire dans la Garonne	75
1.4	Besoins en granulat dans le Premier Plan	85
1.5	Flux de matériaux alluvionnaires de la région IDF en 1981	88
1.6	Inventaire des gisements de granulat des Ponts et Chaussées (1964-1976)	90
1.7	Inventaire de granulat marin dans la Manche	92
1.8	Illustrations de l'extraction de granulat alluvionnaire	96
1.9	Dégâts de l'extractivisme dans les <i>Annales des Mines</i>	102
1.10	Premières couvertures de la revue <i>Le Granulat</i>	103
1.11	Sondage sur les dégâts de l'extractivisme	105
1.12	Cartographie des réaménagements de carrières	117
1.13	Exemples de traitements paysagers	118
1.14	La carrière, une étape dans la vie d'un sol	120
2.1	Chantier de Donzère-Mondragon vu par la Bibliothèque de travail	129
2.2	Profils en travers des canaux de Donzère et de Suez	130
2.3	Godet de dragline sur le chantier de Donzère	131
2.4	Aménagements hydroélectriques sur le Rhône	132
2.5	Profil en long d'un tronçon de l'autoroute du Nord	140
2.6	Couverture du magazine <i>Time</i> (3 mai 1954)	143
2.7	Couverture de <i>The Ecologist</i> (juillet 1972)	145
2.8	Engouement pour le matériel de travaux publics	147
2.9	Manuels de calcul des mouvements de terre	151
2.10	Économie des transports	152
2.11	Rendement journalier par terre	153
2.12	Lourds engins sur rails au tournant du XXe siècle	156
2.13	Publicités de l'entreprise <i>Razel frères</i>	159
2.14	Vues aériennes de plateformes routières	171
2.15	Vues aériennes de plateformes	171

2.16	Coûts journaliers relatifs de quelques matériels de terrassement	175
3.1	Carte des glissements sur l'A7	186
3.2	Glissements de talus routiers	192
3.3	Coûts des ruptures de talus	193
3.4	Exemple de remblai expérimental	195
3.5	Ruptures de remblais expérimentaux	196
3.6	Publicités pour la stabilisation chimique des sols	210
3.7	Activité des laboratoires d'étude des sols	214
3.8	Structure d'une chaussée au milieu des années 1950	218
3.9	Structure moderne des chaussées	219
3.10	Ouvrages de Taylor dédiés au béton	231
3.11	Résistance à la compression des mortiers entre 1780 et 1860	235
4.1	Dégâts de l'hiver 1962-63	245
4.2	Impact des poids lourds en fonction du poids	254
4.3	Carte des durées cumulées de restrictions pour l'hiver 1965-1966	255
4.4	Une barrière de dégel	256
4.5	Renforcements coordonnés de 1969 à 1976	264
4.6	Exemple de chantier de renforcement expérimental	266
4.7	Déflexion et deflectographe	268
4.8	Renforcement de la RN4	272
4.9	Logistique du transport de granulats	273
4.10	Trafic dans les années 1950	282
4.11	Parts relatives du transport de marchandises de 1841 à 1994	284
4.12	Fret de marchandises de 1841 à 2018	285
5.1	Production de déchets en France depuis 2004	305
5.2	Publicités pour la société TIRU	312
5.3	Géographie du problème des déchets de masse	315
5.4	Terrils de cendres volantes et de laitiers	318
5.5	Numéros spéciaux dédiés aux déchets	322
5.6	Laitier sidérurgique dans les techniques routières	335
5.7	Utilisation des cendres volantes (1960-1975)	336
5.8	Fabrication des briques de schistes	339
B.1	Comptabilité nationale des flux de matières	436
B.2	Quantités de sédiments de dragage depuis 2005	447
C.1	Réseau routier français en 2016	458
D.1	Production de laitier de haut-fourneau depuis 1790	461
D.2	L'utilisation de laitier dans la production de ciment	462
D.3	Pourcentage et répartition de valorisation des laitiers	462
D.4	Valorisation de laitier concassé (1960-1975)	463
D.5	Valorisation de laitier granulé (1960-1975)	463
D.6	Production de laitier depuis 2011	464

D.7 Production de cendres volantes (1960-1975)	464
D.8 Pourcentage d'utilisation des cendres volantes (1958-1970)	465
D.9 Utilisation de schistes houillers (1959-1993)	466
D.10 Production d'ordures ménagères depuis 1960	467
D.11 Production d'enrobés bitumineux (2007-2013)	468
D.12 Taux de réintroduction dans les enrobés bitumineux depuis 2007	469

Une histoire pesante

Une histoire pesante : celle du monde moderne, et du capitalisme, comme accumulation de matières. C'est ce que décrivent méthodiquement, depuis au moins vingt ans, les études scientifiques. Un fait majeur dans l'évolution matérielle de l'économie mondiale consiste en ce que la plus grande part de la matière extraite sur Terre sert d'abord à la construction (et non à l'alimentation ou l'énergie). Le Capitalocène¹ se caractérise ainsi autant par une accumulation de CO₂ dans l'atmosphère que par une accumulation de bâti – avec une accélération depuis 1945. Nous proposons de rendre compte de ce fait massif en l'appréhendant comme production d'espace. Comment se fait-elle, comment est-elle rendue possible matériellement, techniquement, idéologiquement, qui la prend en charge, comment affecte-t-elle les milieux ? Le but de cette thèse est de répondre à ces questions au travers d'une histoire environnementale des grandes infrastructures en France depuis 1945.

I Cheminements et dérives d'une recherche

Comment, prenant pied à l'intersection de l'histoire et de l'économie, sans être ni historien ni économiste, en vient-on à s'intéresser à la production d'espace, dont on penserait spontanément qu'elle relève davantage du domaine des géographes ou urbanistes ? Par la méthode sociologique devrais-je répondre. L'objet de cette thèse a été construit par d'innombrables allers et retours, zigzags conscients ou inconscients, entre diverses littératures, issues de toutes les sciences sociales, de multiples confrontations aux archives, remontant toujours plus loin dans le XIXe siècle, et par la construction d'une série d'objets et de résultats intermédiaires. Les dérives multiples et chaotiques d'un autodidacte ne doivent pas faire oublier que cette thèse s'enracine dans une longue réflexion qui se veut rigoureuse. Elle s'inscrit dans, et vient compléter, une série de travaux que je réalise, avec d'autres, sur le métabolisme du capitalisme français, c'est-à-dire sa base biophysique, dans la longue durée². Toutes ces recherches répondent à une exigence commune, déjà explicitée dans mon mémoire de M2 (mai 2017) :

1. Ce terme, introduit et justifié par de nombreuses recherches, est une proposition théorique pour désigner la période géologique actuelle autrement que par la notion post-politique d'Anthropocène. Notre enquête apporte de nouveaux éléments qui démontrent sa pertinence. Voir : J. W. Moore, *Capitalism in the web of life : Ecology and the accumulation of capital*, London, Verso Books, 2015 ; C. Bonneuil et J.-B. Fressoz, *L'événement anthropocène. La Terre, l'histoire et nous*. 2ème édition, Points, Paris, Seuil, 2016.

2. Le capitalisme français inséré dans les écologies-monde depuis 1830 ; vu par ses régimes d'accumulation et métaboliques depuis 1945 ; l'influence du Plan Marshall sur la dépendance au pétrole de long terme ; les transformations des régimes agricoles depuis 1945, en examinant les flux d'azote (en cours, avec Mathieu Maguet). Voir : N. Magalhães et al., « The Physical Economy of France (1830–2015). The History of a Parasite? », *Ecological Economics* 157 (2019), p. 291-300 ; L. Cahen-Fourot et N. Magalhães, *Matter and regulation : socio-metabolic and accumulation regimes of French capitalism since 1948*, Vienna, 2020 ; R.

saisir l'inscription matérielle des économies capitalistes, dans l'espoir de fournir une intelligibilité aux crises écologiques. Elles reprennent largement le cadre théorique (appelé à l'époque "l'institutionnalisme historique et matériel") que j'avais construit pour mener l'enquête, avec pour objectif de penser simultanément la base matérielle des rapports sociaux et le caractère social de tout flux de matière³.

A partir de questionnements initiaux très généraux sur le capitalisme et la crise écologique, et avec l'ambition d'éviter tout raisonnement déductif ou d'ordre uniquement théorique, un cheminement inductif a permis de délimiter une problématique, des terrains d'enquête utiles, et de stabiliser une série de concepts, bouleversant plus ou moins fortement les coordonnées initiales du travail⁴. Mon souhait a, dès le début, été de produire une thèse qui soit davantage qu'une concaténation d'articles, une démarche toujours plus fréquente dans la science économique, à partir d'une enquête unidisciplinaire aboutie, menée de manière réflexive et théoriquement rigoureuse. En particulier, je voulais éviter le double écueil des approches scolastiques sans terrain, les discussions purement idéalistes, qui voient les choses de loin et de façon abstraite, et l'empirisme naïf, qui accumule des descriptions sans interroger l'objet choisi et sans fournir de cadre d'intelligibilité (validant ainsi implicitement l'historiographie dominante). L'objectif était donc de construire simultanément un objet qui soit assez concis et prometteur, une approche théorique satisfaisante et la méthodologie adéquate. Ce long processus de construction, dont les effets sont difficiles à maîtriser de bout en bout, qui ne s'est jamais totalement figé, tout juste cristallisé le temps de la rédaction, a trouvé une direction privilégiée (théorique, empirique et épistémologique) après deux années d'enquête.

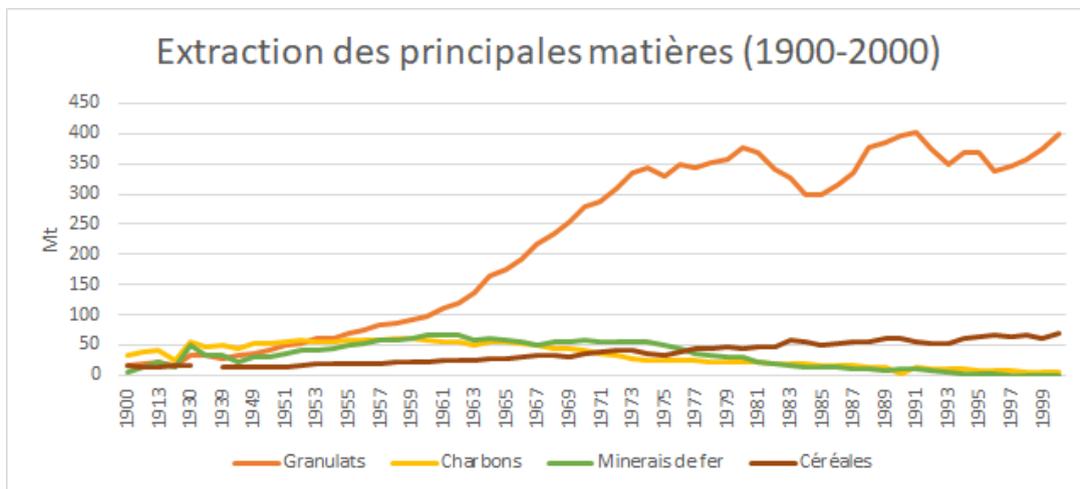


FIGURE 1 – Principales extractions de matières en France au XXe siècle (graphe personnel). *Nota* : l'axe des abscisses n'est pas continu.

Groß et al., « How the European recovery program (ERP) drove France's petroleum dependency, 1948–1975 », *Environmental Innovation and Societal Transitions* 42 (2022), p. 268-284.

3. Voir : N. Magalhães, « Régimes d'accumulation et flux de matières en longue période », dans : *Théorie de la régulation. Un nouvel état des savoirs*, sous la dir. de R. Boyer et al., Dunod, 2023.

4. Voici un extrait du projet hypothétique soumis à l'École Doctorale en juin 2017 dans le but d'obtenir un contrat : "Cette thèse vise à étudier l'économie française sur le temps long en tenant compte de la matérialité des faits macroéconomiques. Nous souhaitons proposer un autre récit de la succession des régimes d'accumulation en France pour le XXe siècle qui tienne compte de la nature et de l'espace physique comme éléments nécessaires à leur stabilisation."

Mon point de départ est le fait matériel majeur de l'économie française du point de vue de l'extraction domestique⁵, déjà mis en évidence dans mon mémoire : les 20 milliards de tonnes (Gt⁶) de sables et graviers (dits "granulats") extraits depuis 1945 (figure 1). Alors que cette matière est quasiment absente des recherches en économie et dans diverses historiographies, je voulais faire l'histoire de cette courbe et donner une intelligibilité à sa forte croissance et ses évolutions. Les premières recherches exploratoires sur la littérature du métabolisme des économies d'autres pays et du côté des archives du patronat des matériaux de construction montraient que le principal responsable de cette extraction était les travaux publics, et d'abord le réseau routier, et non le bâtiment ; que le béton n'était pas la principale destination des granulats ; que l'empreinte spatiale de ces flux était très largement nationale ; que ces flux sont d'autant plus importants qu'ils se transforment, au contraire de la quasi totalité des flux de biomasse ou d'énergie qui se dissipent, en "stocks" de matières. L'idée d'un nouveau cadrage est apparue : non plus interroger des flux (les matériaux de construction ou les granulats), mais les stocks (les grandes infrastructures) qui les reçoivent.

Après deux années d'explorations inductives, le projet avait germé d'une analyse institutionnaliste du métabolisme des grandes infrastructures depuis 1945, c'est-à-dire des flux de matières nécessaires à leur développement et reproduction. J'ai voulu entreprendre une enquête bien plus précise que mes précédents travaux en prenant très au sérieux chaque matière, et leur inscription dans des rapports sociaux institutionnalisés. Alors que l'objet, et toutes ses ramifications, sont pleinement économiques, ce type d'enquête s'est immédiatement avéré incompatible avec une certaine pratique de la science économique et de l'histoire économique, qui se cantonnent à l'espace de la valeur monétaire et séparent le social des "ressources naturelles", tant pour la méthodologie que les interrogations qui émergeaient. Le salut à cette impasse est venu d'une reformulation des enjeux en termes de pratiques sociales (production et aménagement), et la connexion entre l'économie au sens "substantiel" de Karl Polanyi⁷ et la démarche classique de l'Histoire Environnementale⁸, qui consiste à considérer l'inscription des sociétés dans leurs milieux (et substrats matériels) comme analyseur des rapports sociaux. Les archives allaient affiner ces recherches, et dicter les thèmes et les approches des différents chapitres. Les études de cas que j'ai construites – travaux de terrassement, besoin de stabilité des infrastructures, entretien du réseau, extraction des carrières et valorisation des déchets – sont issues du travail d'enquête (la plupart du temps, je n'avais jamais entendu parler de ces objets vis-à-vis desquels j'étais indifférent⁹). J'ai rapidement réalisé, un peu par hasard, que

5. L'autre fait majeur concerne l'importance croissante du commerce extérieur. Je montre leurs liens dans cette thèse. Magalhães et al., *op. cit.* ; Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

6. Je rappelle ici les principales notations pour toute la thèse. Une gigatonne : 1 Gt = 10⁹ tonnes (un milliard de tonnes). Dans la suite : 1 Gx = 10⁹ x ; 1 Mx = 10⁶ x ; 1 kx = 10³ x (avec x = t, m² ou m³).

7. Définie comme le processus institutionnalisé d'interaction entre l'homme et son environnement, destiné à fournir à la société ses moyens d'existence, sa "subsistance", au sens large du terme. K. Polanyi, *La subsistance de l'homme. La place de l'économie dans l'histoire et la société*, Paris, Flammarion, 2011.

8. Dans la suite, une majuscule désigne le sous-champ académique et une minuscule une recherche spécifique qui s'inscrit dans celui-ci.

9. A ce stade, une auto-analyse s'impose en général pour rendre compte du rapport de l'auteur à son objet – pour expliciter, entre autres, les éventuels biais d'analyse. Pour ma part : je n'ai aucun affect pour aucun des thèmes abordés dans cette thèse (ni pour la période ou le pays). Ils n'ont pas été définis par un intérêt spécifique, par une rencontre dans ma trajectoire personnelle, par une familiarité avec l'un ou l'autre espace, par une volonté militante, etc. J'étais particulièrement peu intéressé par ces objets et je les jugeais, spontanément, particulièrement ennuyeux. Cette distance a des effets positifs pour le travail intellectuel : je

la France était toute désignée comme étude de cas : exemple prototypique d'un État aménageur, berceau du concept d'infrastructure, de Corps d'ingénieurs importants, au cœur de l'histoire du ciment et de l'automobilisme. Les recherches développées ici contribuent à une nouvelle histoire (environnementale) des grandes infrastructures, mais aussi et surtout à une réflexion sur la production de l'espace¹⁰. Je n'ai pas construit linéairement, dans cet ordre ou un autre, un cadre théorique, une littérature, des objets, des concepts, et une méthodologie. Si tout ce travail a été mené simultanément, il est important de séparer, pour les besoins de la présentation, les différents niveaux de construction et partis pris¹¹. Plutôt que d'établir un "état de l'art" et une revue exhaustive de chaque littérature, exercice sans doute aussi vain qu'illusoire, j'ai choisi d'expliquer les éléments qui, dans chaque littérature¹², m'ont paru utiles pour construire la problématique, sans qu'ils soient représentatifs d'une littérature dans son ensemble, et d'appuyer sur les décalages les plus discriminants que j'opère vis-à-vis de certains travaux et objets préconstruits. Fin de la première personne du singulier.

II Enjeux et pas de côté

Le premier pas dans la formulation d'une problématique trouve son origine dans l'Écologie Sociale qui a démontré l'intérêt de déplacer la focale des flux vers les stocks de matières, dont l'accumulation inouïe est un fait matériel majeur pour toutes les dynamiques biophysiques. La première intention de cette thèse consiste à dénaturer le bâti, qui reste une boîte noire abstraite dans les modèles, en lui fournissant une historicité. Non pas le décrire tel qu'il apparaît, dans sa diversité, mais tel qu'il a été rendu historiquement possible. Il s'agit précisément de rendre problématique le problème physique qu'imposent ces stocks. Le geste clé, déjà à ce stade méthodologique et épistémologique, consiste en la reformulation des enjeux d'une chose matérielle à une pratique, et à définir l'objet au cœur de cette recherche par une activité inextricablement sociale et matérielle, la production d'espace¹³. Comme nous le verrons avec Henri Lefebvre, s'il y a production et processus productif d'espace, il y a histoire. Cette section présente les raisons du déplacement de la focale de la courbe de stocks (II.1) à une pratique d'aménagement (II.2).

ne cherche pas à défendre une cause ou un mouvement politique, simplement à rendre intelligible des logiques qui ont présidé aux changements depuis 1945.

10. Au moment d'écrire ces lignes, je réalise que le laboratoire dans lequel cette thèse a été effectuée s'intitule "Laboratoire dynamiques sociales et recomposition des espaces". Il m'est difficile de jauger son influence sur mes recherches, car ma démarche est peu partagée par les camarades du laboratoire.

11. Il n'y a pas, bien sûr, de neutralité pure et parfaite : tout point de vue sur le réel intègre un choix de valeur, des choix de sources, de méthodes, d'objets, de récits, qui orientent les conclusions. Je les explique et les justifie au mieux afin d'être adéquatement lu et critiqué.

12. Je prie les publics concernés de m'excuser de lire des platitudes sur leur démarche ou leur cadre.

13. Comme l'explique Bourdieu, "Casser les automatismes verbaux, ce n'est pas créer artificiellement une différence distinguée qui distance le profane ; c'est rompre avec la philosophie sociale qui est inscrite dans le discours spontané. Mettre un mot pour un autre, c'est souvent opérer un changement épistémologique décisif (qui risque d'ailleurs de passer inaperçu)". La méthode historique est un puissant outil : "La science sociale, qui est condamnée à la rupture avec les évidences premières, n'a pas de meilleure arme pour l'opérer que l'historicisation qui permet de neutraliser, au moins dans l'ordre de la théorie, les effets de la naturalisation, et en particulier l'amnésie de la genèse individuelle et collective d'un donné qui se donne avec toutes les apparences de la nature et demande à être pris pour argent comptant, *taken for granted*". P. Bourdieu, *Méditations pascaliennes*, Liber, Paris, Seuil, 1997, p. 262.

II.1 Le poids écrasant des stocks

Toute notre thèse se rattache à l'Écologie Sociale¹⁴ (ES), un courant de l'Économie Écologique¹⁵ qui développe un nombre important d'analyses des flux de matières¹⁶. L'idée *principe*, influencée par la théorie des systèmes et résumée par la notion de métabolisme qui est importée de la biologie, est simple : tout système économique, pour se reproduire dans le temps, a nécessairement besoin de recevoir des flux biophysiques (flux de matières, d'énergie, de phosphore, d'azote, etc.), et d'en rejeter d'autres (émissions, déchets). L'Écologie Sociale se donne pour tâche de quantifier ces flux pour un système donné (souvent l'échelle est administrative - ville, département, pays), sur une durée relativement longue, afin d'évaluer son "poids écologique" et d'identifier d'éventuels "régimes métaboliques" (voir figure B.1).

En adoptant un point de vue totalement différent des autres courants de la science économique, avec une approche dynamique, systémique et biophysique¹⁷, ces travaux, dont les indicateurs et outils méthodologiques sont très variés, jettent un nouveau regard sur les crises écologiques, et sont une source inépuisable d'interrogations sur le fonctionnement des économies. Le premier pas de côté de la thèse est redevable des recherches récentes sur les stocks de matières. Un fait fondamental, assez médiatique, est le suivant : en 2020, le stock "d'artefacts humains", environ 1 100 Gt, a dépassé le stock de toute la biomasse vivante sur Terre¹⁸. D'autres résultats ont influencé notre enquête : la croissance des stocks, qui a connu une Grande Accélération depuis 1945, est supérieure à celle des flux au niveau mondial¹⁹ ; 75 % de l'extraction mondiale de matières est destinée à la construction, maintenance et fonction-

14. Sans rapport avec celle développée par Murray Bookchin. Sur l'*Institute of Social Ecology* de Vienne et l'histoire intellectuelle de ce courant spécifique, voir : M. Fischer-Kowalski, « Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860–1970 », *Journal of Industrial Ecology* 2.1 (1998), p. 61-78 ; M. Fischer-Kowalski et W. Hüttler, « Society's Metabolism : The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998 », *Journal of Industrial Ecology* 2.4 (1998), p. 107-136 ; M. Fischer-Kowalski et H. Weisz, « The archipelago of social ecology and the island of the Vienna school », dans : *Social Ecology. Society-Nature Relations across Time and Space*, sous la dir. de H. Haberl et al., t. 5, Human-Environment Interactions, Springer International Publishing, 2016, p. 3-28.

15. Ce champ est très hétérogène comme le montrent : A. Douai et F.-D. Vivien, « Economie écologique et économie hétérodoxe : pour une socio-économie politique de l'environnement et du développement durable », *Économie appliquée : archives de l'Institut de science économique appliquée* 62.3 (2009), p. 123-158 ; A. Douai et G. Plumecocq, *L'économie écologique*, Repères, Paris, La Découverte, 2017 ; C. L. Spash, éd., *Routledge Handbook of Ecological Economics : Nature and Society*, Routledge international handbooks, London ; New York, Routledge, 2017.

16. Ces comptabilités peuvent être mobilisées par tous les courants. Ils sont par exemple au cœur du courant de l'Écologie Industrielle, qui est très majoritairement conservationniste (l'histoire du *Journal of Industrial Ecology* est explicitement rattachée à la pensée d'optimisation de la conservation des ressources forestières et à l'université de Yale).

17. D'une certaine façon, l'Économie Écologique ne fait que renouveler une longue tradition qui remonte aux physiocrates et à Quesnay.

18. Une autre comparaison édifiante : le seul stock de plastique serait désormais deux fois plus lourd que celui de tous les animaux réunis (8 Gt contre 4 Gt). Voir : E. Elhacham et al., « Global human-made mass exceeds all living biomass », *Nature* 588.7838 (2020), p. 442-444.

19. La période de Grande Accélération des courbes biophysiques varie selon les pays et peut en cacher d'autres à des périodes antérieures. Voir : W. Steffen et al., « The trajectory of the Anthropocene : the great acceleration », *The Anthropocene Review* 2.1 (2015), p. 81-98 ; F. Krausmann et al., « Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.8 (2017), p. 1880-1885.

nement des stocks²⁰ ; le monde moderne est bâti sur du sable et gravier²¹ (mêlés à du ciment²², pour le béton, ou bitume, pour l'asphalte) ; les grandes infrastructures sont aussi lourdes que les bâtiments²³ ; les flux de déchets, d'entretien et de maintenance sont déterminés par ces stocks²⁴ (figure 2). Au contraire d'autres pays²⁵, aucune étude exhaustive sur le temps long n'existe encore pour la France²⁶.

20. F. Krausmann et al., « From resource extraction to outflows of wastes and emissions : The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015 », *Global Environmental Change* 52 (2018), p. 131-140.

21. H. Schandl et A. Miatto, « On the importance of linking inputs and outputs in material flow accounts. The Weight of Nations report revisited », *Journal of Cleaner Production* 204 (2018), p. 334-343 ; D. Wiedenhofer et al., « Integrating Material Stock Dynamics Into Economy-Wide Material Flow Accounting : Concepts, Modelling, and Global Application for 1900–2050 », *Ecological Economics* 156 (2019), p. 121-133.

22. Dont les productions sont exponentielles, surtout en Chine : Z. Cao et al., « Estimating the in-use cement stock in China : 1920–2013 », *Resources, Conservation and Recycling* 122 (2017), p. 21-31 ; Z. Cao et al., « Elaborating the History of Our Cementing Societies : An in-Use Stock Perspective », *Environmental Science & Technology* 51.19 (2017), p. 11468-11475.

23. Le seul poids du réseau routier dépasse celui des bâtiments dans l'Union Européenne (UE) des 25 en 2009 : D. Wiedenhofer et al., « Maintenance and Expansion : Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25 : Stocks and Flows in the EU25 », *Journal of Industrial Ecology* 19.4 (2015), p. 538-551.

24. D. B. Müller, « Stock dynamics for forecasting material flows. Case study for housing in The Netherlands », *Ecological Economics* 59.1 (2006), p. 142-156 ; A. Miatto et al., « Modeling material flows and stocks of the road network in the United States 1905–2015 », *Resources, Conservation and Recycling* 127 (2017), p. 168-178.

25. H. Tanikawa et al., « The Weight of Society Over Time and Space : A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945-2010 », *Journal of Industrial Ecology* 19.5 (2015), p. 778-791 ; G. Schiller, F. Müller et R. Ortlepp, « Mapping the anthropogenic stock in Germany : Metabolic evidence for a circular economy », *Resources, Conservation and Recycling* 123 (2017), p. 93-107 ; J. Streeck et al., « Stock-flow relations in the socio-economic metabolism of the United Kingdom 1800–2017 », *Resources, Conservation and Recycling* 161 (2020), p. 1-12 ; J. Streeck et al., « The role of socio-economic material stocks for natural resource use in the United States of America from 1870 to 2100 », *Journal of Industrial Ecology* (2021), p. 1-17.

26. Nous avons entrepris ce travail récemment. Pour la France, outre Paris, les données sont souvent régionales (Bretagne, Bourgogne, Val de Loire), très récentes et statiques. Voir : CGDD-SOeS, *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*, Guide méthodologique, juin 2014 ; le stock de l'Ile-de-France avoisine 2,44 Gt (soit 204 t/hab) en 2013, dont 569 Mt pour le réseau routier et 1,4 Gt pour les logements : V. Augiseau, « La dimension matérielle de l'urbanisation. Flux et stocks de matériaux de construction en Ile-de-France », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2017, p. 352.

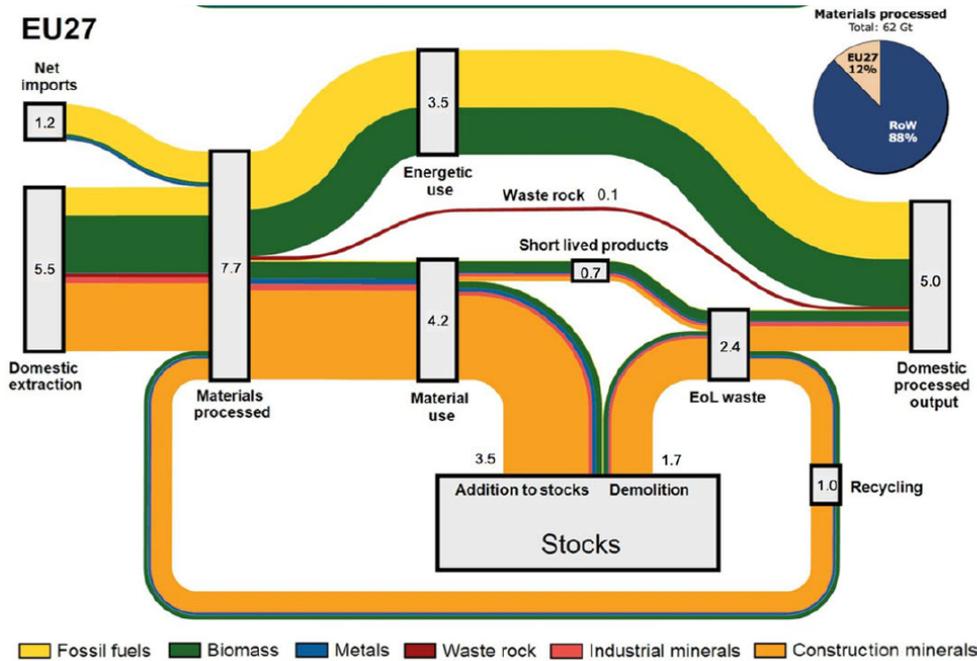


FIGURE 2 – Synthèse des flux de matières (en Gt) pour l’UE des 27 en 2005. Lecture : 3,5 Gt ont été ajoutés aux stocks ; 1,7 Gt en sont issus, dont 1 Gt a été réutilisé²⁸.

Si novatrice et rafraichissante soit-elle, nous ne pouvons souscrire à cette approche. Même si elle se qualifie de “sociale” et entend prendre au sérieux les “interactions société-nature”, les défauts de son cadre d’analyse sont assez proches de ceux de l’Écologie Industrielle dont elle essaye de se différencier²⁹ : les courbes sans histoire et sans rapports sociaux (donc sans institutions ni rapports de pouvoir) ; une importance démesurée attribuée aux systèmes techniques ; la focale au niveau macro peine à analyser finement l’hétérogénéité des territoires infranationaux ; l’invisibilisation de nombreuses pratiques du fait qu’elles sont non marchandes³⁰ ; le réductionnisme quantitatif et la faible importance accordée au qualitatif des dynamiques ; l’a-spatialité des flux qui apparaissent comme des flèches reliant des points d’un graphe mathématique³¹ (le point étant “l’environnement” ou “l’économie” d’un territoire) ; l’absence de pensée dialectique entre les flux. Ainsi, le bâti est une abstraction qui

28. W. Haas et al., « How Circular is the Global Economy ? : An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005 », *Journal of Industrial Ecology* 19.5 (2015), p. 770.

29. L’Écologie Industrielle est privilégiée par les pouvoirs publics et privés pour cadrer les débats au sujet de questions environnementales. A la différence de l’ES, elle est largement normative, technophile et adhère au paradigme écomoderniste (ou “l’éco-efficacité” selon les termes de Joan Martínez Alier). Voir : P. Christoff, « Ecological modernisation, ecological modernities », *Environmental Politics* 5.3 (1996), p. 476-500.

30. En ne comptabilisant que les matières marchandes, ces statistiques invisibilisent l’autoconstruction, sans doute très importante dans certains pays, et la réutilisation de matériaux. Ceci tend à minimiser des pratiques alternatives et l’importance de certains matériaux (le bois et surtout la terre) dans la production de bâti. Cet écart peut vite mener à des conclusions trompeuses : sur-estimer le totalitarisme du béton, sous-estimer (voire dévaloriser) les savoirs liés à d’autres matériaux non marchandisés.

31. L’a-spatialité est frappante au niveau national : les travaux à l’échelle macro font comme si le pays recevait et rejetait des flux de matières (de l’étranger ou de son “environnement”), donc comme si les flux intranationaux au sein du système n’existaient pas.

reçoit et rejette des flux, sans que son contenu (sa forme, sa qualité, son usage) ne soit interrogé, ni les rapports sociaux institutionnalisés qui le soutiennent et sont soutenus par celui-ci. Notre thèse démontre que ces écueils conduisent à des impasses pour l'analyse. L'absence des rapports sociaux empêche de fournir une explication sérieuse sur les raisons de la hausse des stocks, et passe à côté de toutes les difficultés et tensions qui accompagnent leur production et reproduction (chapitres 3 et 4). Coller aux conventions des flux de matières et écarter les flux non marchands conduit à négliger une activité fondamentale dans toute la production d'espace : les travaux de terrassement, absents de la figure 2 alors qu'ils déplacent d'immenses volumes de terre (chap. 2). La négligence de considérations qualitatives est une faute analytique grave puisque la stabilité du bâti exige une attention permanente (chap. 3). La thèse démontre toute l'importance de la spatialité de la production de stocks – qui est, en pratique, un immense problème de logistique des flux internes au système national (chapitres 1, 2 et 5). Plutôt que d'ouvrir séparément les boîtes “bâti” et “environnement”, nous montrons le besoin de penser dialectiquement leur co-évolution dynamique (chap. 1). Il en va de même pour les déchets : notre enquête historique met en lumière que la question de la valorisation est avant tout spatiale et explique pourquoi la production de bâti réceptionne des déchets issus de secteurs industriels (chap. 5). Enfin, nous montrons que ni la connaissance fine du métabolisme d'un territoire ni la planification des flux ne sont des garanties pour atténuer les dégâts écologiques (chap. 1). Alors que leurs analyses démontrent que les stocks contribuent au dépassement d'une hausse de température de 2°C d'ici 2100, du fait des flux biophysiques qu'ils requièrent³², elles conduisent aussi à une grande impasse du fait du prisme technique qu'elles adoptent. Pris sans précaution, le caractère systémique de ces travaux peut les réduire au paradigme cybernétique post-politique³³.

Des alternatives existent qui émettent des critiques proches des nôtres, au moins au sens du besoin d'une analyse sociale et politique du métabolisme, mais sont principalement développées pour le métabolisme urbain : la *political-industrial ecology*³⁴ et l'Écologie Territoriale. Cette dernière, souvent plus statique que l'ES, privilégie une entrée par le territoire, à la fois espace matériel et lieu de jeux d'acteurs complexes, et s'essaye à comprendre les interactions entre ce territoire et les milieux dont il dépend par une description de son métabolisme³⁵. Loin de coller à un territoire administratif, pour lequel des statistiques sont en général plus accessibles, nous étudierons l'évolution du métabolisme d'un système particulier : les grandes infrastructures (voire V.1).

32. F. Krausmann, D. Wiedenhofer et H. Haberl, « Growing stocks of buildings, infrastructures and machinery as key challenge for compliance with climate targets », *Global Environmental Change* 61 (2020), p. 102034.

33. L'importation de l'écologie systémique et son application à l'économie est fort dangereuse quand elle naturalise les rapports sociaux – et, par suite, la production d'espace.

34. H. L. Breetz, « Political-industrial ecology : Integrative, complementary, and critical approaches », *Geoforum* 85 (2017), p. 392-395 ; J.-B. Bahers, A. Tanguy et S. Pincetl, « Metabolic relationships between cities and hinterland : a political-industrial ecology of energy metabolism of Saint-Nazaire metropolitan and port area (France) », *Ecological Economics* 167 (2020), p. 106447.

35. S. Barles, « Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* 5 (2017), p. 819-836.

II.2 Sortir des histoires hélicoptères de l'aménagement du territoire

Un travail paresseux et a-réflexif se contenterait d'opérer une fusion entre les faits stylisés produits par l'ES et le "contexte politique et social" des époques. Cette opération est d'autant plus facile qu'une importante littérature existe sur le bâti en France après 1945. L'historiographie dominante privilégie le discours, promu par l'État et ses administrations, d'Aménagement du Territoire (noté AT dans toute la thèse³⁶). Tant du côté de l'histoire économique que de l'analyse des politiques publiques, les littératures mettent majoritairement l'accent sur une politique nécessairement bonne et un progrès pour le pays³⁷, qui se décrit comme une succession de grands projets, de travaux extraordinaires, d'hommes politiques³⁸ et entrepreneurs aux qualités rares³⁹. Les recherches illustrent en général leurs propos par un catalogue de "grandes réalisations" issues de plans (d'aménagement, de "modernisation" ou "d'équipement"), de schémas directeurs⁴⁰, de ministères (de la Reconstruction et de l'Urbanisme, de l'Équipement, des Travaux Publics) et des directions (à commencer par la DATAR⁴¹), des lois et décrets marquants, etc.

36. L'AT désignera dans la thèse tous les projets de mise en ordre de l'espace souhaités et soutenus par les pouvoirs publics (au-delà de l'État). La littérature le définit comme "l'action et la pratique (...) de disposer avec ordre, à travers l'espace d'un pays et dans une vision prospective, les hommes et leurs activités, (...) en prenant en compte les contraintes naturelles, humaines et économiques", afin que "les fonctions et les relations entre les hommes s'exercent de la façon la plus commode, la plus économique et la plus harmonieuse" : P. Merlin, *L'aménagement du territoire en France*, Les Études, Paris, La Documentation française, 2007, p. 7.

37. Ces récits d'un progrès toujours en marche, et nécessaire, sont communs à l'histoire de l'énergie : A. Marrec, « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 », Thèse de doctorat en histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes, 2018.

38. La liste usuelle contient : Gravier, Dautry, Claudius-Petit, Guichard, Delouvrier, Lamour, etc. Voir : B. Pouvreau, « La politique d'aménagement du territoire d'Eugène Claudius-Petit », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 3.79 (2003), p. 43-52 ; C. Pessis, S. Topçu et C. Bonneuil, éd., *Une autre histoire des "Trente Glorieuses" : modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*, Cahiers libres, Paris, La Découverte, 2013.

39. Dominique Barjot et ses étudiants (Berthonnet, Okalla Bana) s'inscrivent dans cette approche. Toutes les grandes multinationales, et les entrepreneurs associés, ont droit à leur portrait élogieux : Bouygues, Chagnaud, Colas, Dumez, Eurovia, Fougerolle, GTM, Lafarge, SPIE, STUP, Vinci, etc. L'abondance de ces travaux reflète celle de la disponibilité des archives d'entreprises – et une absence de réflexivité.

40. De 1950 à 1988, toute infrastructure de transport terrestre participant à la liaison du territoire national, devait s'inscrire dans un Schéma Directeur des Transports.

41. Elle symbolise le passage de projets d'aménagements limités aux villes et régions à un projet global. S. Wachter, « Ajustements et recentrage d'une politique publique : le cas de l'aménagement du territoire », *Sociologie du travail* 31.1 (1989), p. 51-74 ; J.-L. Bodiguel, « La DATAR : quarante ans d'histoire », *Revue française d'administration publique* 119.3 (2006), p. 401-414 ; J.-B. Albertini, « De la DATAR à la nouvelle DIACT : la place des questions économiques dans la politique d'aménagement du territoire », *Revue française d'administration publique* 119.3 (2006), p. 415-426.

Schématiquement, le récit de l'Aménagement du Territoire⁴² décrit deux périodes. Un "âge d'or" (1940⁴³-1980) et un âge néolibéral (1980-2020), qui coïncideraient avec des idéologies et des projets politiques distincts : le premier est caractérisé par une géographie volontariste qui chercherait un équilibre entre les régions, et la répartition des humains et des activités économiques ; la décentralisation (industrielle, administrative) et le néolibéralisme auraient conduit à une ère contractuelle et un aménagement concurrentiel des territoires dans lequel l'État tend à s'effacer. Il existe de très nombreuses variations et nuances pour les deux périodes, avec un accent plus ou moins marqué sur certains ministères, la décentralisation du début des années 1980, l'influence de l'UE, etc. Les récits sur l'AT offrent en général un catalogue de constructions nouvelles (usines, logements, villes, équipements collectifs, infrastructures d'énergie et de transport, etc.), en attachant très peu d'importance au support physique de ce bâti⁴⁴. Si les idéologies et les représentations importent pour rendre compte des espaces produits, en particulier les structures symboliques et les imaginaires mobilisés pour rationaliser et réguler l'espace⁴⁵, il paraît également indispensable, surtout si l'on souhaite comprendre les crises écologiques, de s'intéresser à la matérialité de ces aménagements. Toute cette littérature décrit une production d'espace sans sol et sans flux de matières, sans rapport concret aux milieux⁴⁶. Elle invisibilise l'activité qui se déroule sous l'hélicoptère d'Olivier Guichard⁴⁷ : des chantiers qui grouillent de béton, de coffrages, de mouvements de terre, de camions et de machines. Elle est totalement muette sur les plus grands flux de matières de l'époque : les mouvements de 10 Gm³ de terre (chap. 2) et de 20 Gt de granulats (chap. 1). La combinaison de l'ES avec cette littérature résulterait en un récit téléologique totalement dépolitisé – le fait que des gouvernements de gauche et de droite aient majoritairement soutenu, au-delà des désaccords (sur l'ampleur des crédits et leur origine, le degré de centralisation), les différentes

42. Récits présents dans les ouvrages suivants : M. Desportes et A. Picon, *De l'espace au territoire : l'aménagement en France, XVIe-XXe siècles*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et chaussées, 1997 ; P. Deyon et A. Frémont, *La France et l'aménagement de son territoire (1945 - 2015)*, Décentralisation et développement local, Paris, Dexia Editions Locales de France, 2000 ; P. Caro, éd., *La politique d'aménagement du territoire : racines, logiques et résultats*, Espace et territoires, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2002 ; Merlin, *op. cit.* ; Y. Jean et M. Vanier, *La France : aménager les territoires*, 2ème édition, Collection U, Paris, A. Colin, 2009.

43. Le consensus actuel ramène les débuts de l'AT au gouvernement de Vichy : D. Voldman, *La reconstruction des villes françaises de 1940 à 1954. Histoire d'une politique*, Paris, L'Harmattan, 1997.

44. Ce commentaire vaut pour les architectes et urbanistes qui s'intéressent à un bâti existant, ou futur, mais pas en train d'être produit – sphère réservée à l'ingénieur. Par exemple : F. Lopez, *L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*, vuesDensemble, Genève, MétisPresses, 2019.

45. L'importance des idéologies et cadres cognitifs de l'action publique, qui découpent "l'environnement" en une collection d'enjeux sectoriels confiés à des spécialistes, a été examinée par B. Kalaora et C. Vlassopoulos, *Pour une sociologie de l'environnement : environnement, société et politique*, L'environnement a une histoire, Seyssel, Champ Vallon, 2013.

46. Le paradigme sous-jacent est celui du développement durable : J.-P. d. Gaudemar, éd., *Environnement et aménagement du territoire*, Recherches, Paris, La Documentation française, 1996.

47. Olivier Guichard (1920-2004), alors ministre délégué à l'Aménagement du territoire et à l'action régionale, explique dans son livre "Aménager la France" (1965), qu'il survole en hélicoptère les zones à aménager. Il a été chef de cabinet du Général de Gaulle entre 1951 et 1958, directeur de la DATAR (1963-1967), ministre (Éducation nationale, Équipement, Justice) dans les gouvernements de Chaban-Delmas, Messmer, Chirac et Barre, maire de La Baule (1971-1995) et député (1967-1997). C'est la circulaire Guichard qui met fin à la production des grands ensembles en 1973. Voir : V. Guigueno, « La France vue du sol. Une histoire de La Mission photographique de la Datar (1983-1989) », *Études photographiques* 18 (2006), p. 97-119.

politiques d'AT renforce l'impression d'un consensus⁴⁸. Observant une certaine corrélation entre les périodes des grandes politiques publiques avec celles de la figure 1, cette alliance aboutirait à une causalité univoque de l'AT vers l'extraction de matières. Elle commettrait une erreur méthodologique en réunissant la "matière" et le "social" par un meta-discours, et non par des institutions ou des pratiques, fusion qui interdirait de fournir des explications précises des dynamiques.

Cette thèse s'inscrit explicitement dans une alternative à ce récit de l'AT. Il s'agit de la proposition d'une histoire environnementale de l'aménagement du territoire, formulée par un groupe d'historiens, anthropologues et archéologues, réunis par Patrick Fournier et Geneviève Massard-Guilbaud⁴⁹. Pour comprendre leur démarche, il faut rappeler la rupture opérée par l'Histoire Environnementale vis-à-vis de l'histoire de l'environnement. Là où de nombreuses approches en sciences sociales (notamment en économie⁵⁰) s'intéressaient à l'environnement comme objet stable (une forêt, une rivière, un marais), souvent anhistorique, une scène extérieure qui pouvait être étudiée dans ses relations avec la société ou l'économie, elle a démontré qu'il était fructueux d'étudier l'inscription matérielle des rapports sociaux⁵¹ – ce qui exige de solidariser la dimension environnementale aux dynamiques sociales⁵² et non plus de les penser comme des entités séparées. Autrement dit, ne plus se contenter d'une histoire des "atteintes à l'environnement", ou de "l'impact de la société sur l'environnement⁵³", mais s'intéresser au substrat matériel des pratiques sociales⁵⁴. Ce déplacement nous incite à dépasser les seuls

48. La prise en charge par l'État des réseaux de transport et de communication est un des seuls domaines où les doctrines économiques libérales et socialistes s'accordent : B. Théret, « À propos du rôle de l'État dans la mise en œuvre des infrastructures de transport et de communication en France de 1815 à 1939 [Les théories confrontées à l'histoire et à la mesure.] », *Histoire & Mesure* 10.1 (1995), p. 149-197.

49. P. Fournier et G. Massard-Guilbaud, éd., *Aménagement et environnement : perspectives historiques*, "Histoire", Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2016 ; P. Fournier, « Introduction. Pour une histoire de l'aménagement des espaces ruraux », *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 122.272 (2010), p. 469-476.

50. La littérature la plus caricaturale est celle qui isole des nuisances mesurables monétairement, et réduit tout à des externalités corrigeables. Voir une critique dans F. Héran, « Pour une approche systémique des nuisances liées aux transports en milieu urbain », *Les Cahiers Scientifiques du Transport* 59 (2011), p. 83-111.

51. Prise en ces termes, elle a de grandes affinités avec la "morphologie sociale" de l'école durkheimienne – qui la définissait comme la partie de la sociologie traitant du substrat matériel de la société, à la différence de la physiologie sociale qui portait sur l'activité sociale elle-même. Mauss la définit comme la "science qui étudie non seulement pour le décrire, mais aussi pour l'expliquer, le substrat matériel des sociétés, c'est-à-dire la forme qu'elles affectent en s'établissant sur le sol, le volume et la densité de la population, la manière dont elle est distribuée ainsi que l'ensemble des choses qui servent de siège à la vie collective". Cité dans : P. Boudes, « Morphologie sociale et sociologie de l'environnement : l'apport de Halbwachs à l'étude des relations entre les sociétés et leur milieu naturel », *L'Année sociologique* 61.1 (2011), p. 204.

52. C'est le tour de force que réalise Cronon – lorsqu'il étudie ce que nous pouvons nommer la production d'espace de Chicago : W. Cronon, *Chicago, métropole de la nature*, Zones Sensibles, 2022.

53. Nous reprenons ce positionnement à notre compte et rejetons les travaux en économie, y compris hétérodoxe, qui analysent toujours le social comme séparé de l'environnement, ainsi que toute perspective sur des "outils économiques" à des "problèmes environnementaux". Loin de nous l'idée de nier que les activités humaines dégradent les milieux divers, mais il nous semble bien plus pertinent de les expliquer en étudiant comment les sociétés humaines s'inscrivent dans ces milieux – les "impacts" se déduisent de cette inscription.

54. En France, c'est d'abord une histoire de l'environnement qui a dominé, et ce n'est que depuis peu que se développe l'Histoire Environnementale. L'écart est moins marqué aux États-Unis, où les deux approches sont confondues dans le champ de l'*environmental history*. Voir : J.-B. Fressoz et al., *Introduction à l'histoire environnementale*, Repères Histoire, Paris, La Découverte, 2014.

effets (sociaux et environnementaux) du bâti une fois produit⁵⁵, pour préciser dans quelles relations sa production s'insère. Ce recul historique va de pair avec une posture critique : loin de projeter un "contexte" sur les stocks, il s'agit de le reconstruire en montrant qu'une activité considérée comme banale ou naturelle ne va finalement pas de soi. C'est un parti pris évident pour nous puisque nous étudions la production d'un environnement bâti, et non pas un hypothétique environnement naturel séparé de la "société". Très riche pour les XVIIIe et XIXe siècles⁵⁶, l'histoire environnementale de la France au XXe siècle, surtout après 1945, est encore embryonnaire⁵⁷.

La proposition de Fournier et Massard-Guilbaud est la suivante : mettre ce grand récit de l'AT à distance, adopter un regard critique par rapport à l'idée que l'aménagement par l'État est intrinsèquement bon, considérer des aménagements pluriels des territoires, utiliser l'heuristique du comparatisme entre sociétés, et surtout scruter les effets sur les milieux des aménagements divers. Ce parti pris présuppose de redéfinir la prénotion, très fortement connotée, d'aménagement du territoire – inaugurant par là, selon nous, tout un champ de recherche⁵⁸. L'idée générale consiste à partir d'une portion d'espace spécifique pour étudier comment, par qui, pour qui et pourquoi, avec l'appui de quelles représentations, ce lieu est concrètement aménagé, tout en examinant les conséquences sur les milieux socio-écologiques, souvent non anticipées, de ces aménagements. Cette proposition, qui évite tant que possible l'écueil de l'analyse des "impacts sur la nature", rejoint sur bien des aspects l'Écologie Territoriale et la démarche de deux auteurs qui ont beaucoup influencé cette thèse – dans leur approche, leur méthodologie et leurs objets de recherche (routes, sols, déchets ou ciment) : André Guillerme et Sabine Barles (et leurs élèves) qui, depuis plus de trente ans, ont entrepris un travail considérable sur la matérialité du bâti urbain⁵⁹. De cette façon, l'AT par

55. Bernard Charbonneau en donne l'intuition : "Il ne faut pas seulement considérer la chaussée, mais une zone beaucoup plus large, plus ou moins dévastée par la masse motorisée qu'attire la route. Destruction des arbres aux abords des villages, autour des pavillons et sur les places aux fins, ici plus ou moins utiles, de parking" (*Aménagement et Nature*, 1970, p. 14). Sur les effets de coupure en ville, voir : F. Héran, *La ville morcelée : effets de coupure en milieu urbain*, Méthodes et approches, Paris, Economica, 2011.

56. Très orientée sur l'énergie, les pollutions et les risques des sciences et des techniques industrielles émergentes (Fressoz, Jarrige, Le Roux, Locher, Mathis).

57. Parmi les références utiles à notre travail : S. B. Pritchard, *Confluence. The Nature of Technology and the Remaking of the Rhône*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2011 ; Pessis, Topçu et Bonneuil, *op. cit.* ; R. Bécot, « Syndicalisme et environnement en France de 1944 aux années quatre - vingt », Thèse de doctorat en histoire, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 2015 ; Marrec, *op. cit.*

58. A sa façon, cette approche ressemble aux décalages appliqués par d'autres sur des concepts aussi importants que l'État, le travail, l'économie ou la monnaie – l'économie, comme le travail, en régime capitaliste est une organisation, ou d'activité, très particulière, historiquement circonscrite (Marx, Polanyi). On peut affirmer, à un niveau anthropologique, donc transhistorique, que si les êtres humains travaillent nécessairement, puisqu'ils réalisent des tâches diverses pour se reproduire, ils aménagent nécessairement des territoires dans une certaine économie et un certain État. L'enjeu des sciences sociales historiques est de préciser les modalités et déclinaisons, toujours singulières, de ces concepts.

59. Citons ici les principaux ouvrages qui comptent pour nous : A. Guillerme, *Corps à corps sur la route : Les routes, les chemins et l'organisation des services au XIXe siècle*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1984 ; S. Barles, « La pédosphère urbaine : le sol de Paris XVIIIe-XXe siècles », Thèse de doctorat en urbanisme et aménagement, École Nationale des Ponts et Chaussées, 1993 ; A. Guillerme, *Bâtir la ville. Révolutions industrielles dans les matériaux de construction, France - Grande Bretagne, 1760-1840*, Paris, Champ Vallon / PUF, 1995 ; S. Barles, *L'invention des déchets urbains : France, 1790-1970*, Collection milieux, Seyssel, Champ Vallon, 2005 ; S. Bognon, « Les transformations de l'approvisionnement alimentaire dans la métropole parisienne. Trajectoire socio-écologique et construction de proximités », Thèse de doctorat

un État moderne n'est qu'une possibilité, finalement très particulière, parmi tant d'autres dans l'histoire longue des sociétés⁶⁰. D'autres projets que ceux catalogués "aménagement du territoire" peuvent être considérés dès lors qu'ils affectent concrètement un lieu donné⁶¹. Paradoxalement, alors que leur critique du récit de l'AT est explicite⁶², aucune étude n'applique cette méthode à son soi-disant "âge d'or". Notre travail, qui introduit de nouvelles pratiques (concasser, terrasser, stabiliser) et objets (rivières, remblais, talus, déchets sidérurgiques) dans l'aménagement du territoire, entend contribuer à combler ce vide.

III Analyse institutionnaliste et production d'espace

Ce qui précède invite à une histoire environnementale de l'AT depuis 1945. Encore faut-il préciser le cadre théorique adéquat pour expliquer les faits stylisés – ou encore, quel type d'histoire nous comptons entreprendre. L'Histoire Environnementale, comme d'autres champs (histoire économique, histoire sociale, histoire intellectuelle), mais aussi l'Économie Écologique, est une approche qui est très hétérogène épistémologiquement⁶³, ce qui peut conduire à des confusions, voire des contradictions, théoriques : certaines études peuvent mélanger des approches latouriennes et pragmatiques avec des concepts marxistes, tout en citant Braudel ou Deleuze. Selon le cadre, des structures seront plus ou moins présentes ou une *agency* sera attribuée aux non-humains. Afin d'éviter les contorsions épistémologiques, et pour ne pas laisser un flou planer sur l'enquête, il nous semble important d'explicitier notre parti pris théorique. Nous défendons que la construction de bâti après 1945 ne peut être comprise comme un processus aléatoire, fruit d'interactions entre des sujets libres et des forces non-humaines. Malgré tous leurs défauts, les nombreuses études de l'AT susmentionnées soulignent assez les idéologies sous-jacentes, les administrations et les entreprises à la manœuvre, et même parfois les liens avec les régimes de l'accumulation du capital (voir plus bas). Sans en délimiter le contenu, il n'est pas possible d'enquêter, selon nous, sans affirmer au moins que cette production est conditionnée par des institutions, des forces sociales, et des structures. Ceci n'est pas contradictoire avec le fait que l'Histoire n'est pas un enchaînement nécessaire de cause à effet. Les sociétés sont bien placées à chaque instant de leur histoire devant plusieurs voies possibles entre lesquelles des choix sont opérés⁶⁴. Si aucune trajectoire n'est nécessaire

en géographie et aménagement du territoire, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2014 ; Augiseau, « La dimension matérielle de l'urbanisation », *op. cit.* ; F. Esculier, « Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques », Thèse de doctorat en sciences et techniques de l'environnement, Université Paris-Est, 2018.

60. Ces auteurs retracent l'histoire très longue des aménagements, surtout ruraux, et notent une rupture, ou accélération, aux XVIIe et XVIIIe siècles : davantage de drainage de zones humides, construction de canaux, intensification agricole, industrialisation et aménagements urbains.

61. Une réforme "sociale" peut avoir des effets sur un milieu donné. Les limites exactes de l'intervention publique en faveur de l'aménagement du territoire sont délicates à tracer : L. Davezies, *La République et ses territoires : la circulation invisible des richesses*, La République des idées, Paris, Seuil, 2008.

62. Dans l'introduction à l'ouvrage : P. Fournier, « Pour une histoire environnementale de l'aménagement territorial », dans : *Aménagement et environnement : perspectives historiques*, sous la dir. de P. Fournier et G. Massard-Guilbaud, "Histoire", Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2016, p. 7-21.

63. D. R. Weiner, « A Death-Defying Attempt to Articulate a Coherent Definition of Environmental History », *Environmental History* 10 (2005), p. 404-420 ; Fressoz et al., *op. cit.*

64. P. Veyne, *Comment on écrit l'histoire*, L'Univers historique, Paris, Seuil, 1978.

ex ante, une explication des choix réalisés doit en revanche être possible *ex post*⁶⁵. Loin de coller à un modèle théorique préconçu, nous rejetons à la fois les approches post-modernes et pragmatiques, ainsi que les descriptions, si fines soient-elles, au ras du sol⁶⁶. Nous détaillons ici ce que nous empruntons aux courants marxistes, et en particulier à Henri Lefebvre (III.1), et au cadre, souple, de l'institutionnalisme historique (III.2).

III.1 Marxismes et production d'espace

Ce n'est pas une coïncidence si, dans les années 1970, une abondante littérature naît sur l'espace dans les courants marxistes⁶⁷, et affiliés⁶⁸, alors que les transformations les plus radicales sont entamées⁶⁹. L'irruption de la "question spatiale" n'est pas une mode académique, mais un reflet idéal des évolutions des structures matérielles d'une époque⁷⁰. C'est bien parce que la production de l'espace, titre du célèbre ouvrage de Lefebvre⁷¹, en particulier la production urbaine, a pris une telle ampleur, et que les outils des géographes pour l'analyser semblent insuffisants, que cette littérature émerge dans les années 1970⁷² – y compris la "géographie radicale" de David Harvey – en reprochant aux géographes de ne pas

65. Comment faire des sciences sociales si l'on postule que le social est infiniment "complexe" ou qu'une trajectoire historique reste sans explication – puisqu'une autre, également valable *a priori*, était disponible ?

66. Cette expression est celle de Latour et Woolgar qui proposent "une description anthropologique au ras du sol, une anthropologie centrée sur les actes, la gestion des choses et l'occupation de l'espace". Latour affirme régulièrement son rejet de grandes notions qui n'ont aucun sens selon lui – y compris le capitalisme. Adoptant une ontologie tardienne rigoureusement plane, il évacue ainsi la question, toujours présente, des rapports de pouvoir. Voir : B. Latour et S. Woolgar, *La vie de laboratoire : la production des faits scientifiques*, Sciences humaines et sociales 18, Paris, La Découverte, 2013.

67. Le marxisme défini simplement ici comme école de pensée unidisciplinaire gravitant autour du matérialisme historique. Les désaccords ne sauraient être minimisés entre Lefebvre et Castells ou Althusser.

68. Les situationnistes construisent alors une critique radicale de l'urbanisme. Les chercheurs d'inspiration foucauld-deleuzienne développent une théorie, inachevée, des grands plans d'équipement : F. Fourquet et L. Murard, *Les équipements du pouvoir : villes, territoires et équipements collectifs*, 10/18 ; 1073, Paris, Union générale d'éditions, 1976.

69. M. Castells, *La question urbaine*, Textes à l'appui, Paris, François Maspero, 1972 ; C. Topalov, *Les Promoteurs immobiliers : contribution à l'analyse de la production capitaliste du logement en France*, La Recherche urbaine, Paris, 1973 ; D. Harvey, « What Kind of Geography for What Kind of Public Policy ? », *Transactions of the Institute of British Geographers* 63 (1974), p. 18-24 ; A. Lipietz, *Le Tribut Foncier Urbain*, économie et socialisme 6, Paris, François Maspero, 1974 ; A. Lipietz, *Le Capital et son espace*, économie et socialisme 34, Paris, François Maspero, 1977.

70. Cette littérature serait en plein renouveau au sein du *spatial turn* : C. Revol, « Le succès de Lefebvre dans les *urban studies* anglo-saxonnes et les conditions de sa redécouverte en France : » *L'Homme & la Société* 185-186.3 (2013), p. 105-118 ; J.-Y. Martin, « De quoi Lefebvre est-il le nom dans la jeune géographie critique française ? », *NORUS (Novos Rumos Sociológicos)* 4.6 (2016) ; C. Gintrac, « Le foisonnement récent de la géographie critique en France », *Histoire de la recherche contemporaine* 9.1 (2020), p. 35-44.

71. Il publie à la suite : H. Lefebvre, *Le droit à la ville*, Paris, Anthropos, 1968 ; H. Lefebvre, *La révolution urbaine*, Paris, Gallimard, 1970 ; H. Lefebvre, *La production de l'espace*, 4ème édition, Paris, Anthropos, 2000 [1974].

72. L'Écologie Urbaine et l'Écologie Industrielle naissent à la même époque, en réaction à ces transformations. Voir : I. Røpke, « The early history of modern ecological economics », *Ecological Economics* 50.3 (2004), p. 293-314 ; S. Barles, « L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières », *Développement durable et territoires* 5.1 (2014).

examiner le rôle premier des surdéterminations induites par les rapports capitalistes (logiques du marché, appropriation de la plus-value), ni leur dialectique avec la production d'espace⁷³.

Une barrière de taille nous sépare de ce corpus : comme nous rejetons la théorie substantialiste de la valeur-travail, un pilier de la majorité des réflexions marxistes⁷⁴, nous ne pouvons accepter ni la loi de baisse tendancielle du taux de profit, ni son corollaire des crises de suraccumulation (qui se définissent essentiellement comme un surplus de capital n'ayant pas de moyens rentables de s'investir). Puisqu'elle s'appuie sur cette matrice théorique, il nous est rigoureusement impossible d'adhérer à la théorie, stimulante, du *spatial fix* de David Harvey⁷⁵. Il existe une dernière rupture avec ces écrits marxistes : leur caractère souvent scolastique et déductif, sans enquête véritable et avec des preuves réduites à une succession d'illustrations⁷⁶. La théorie de David Harvey⁷⁷, si elle s'appuie sur un constat partagé – l'incessante expansion géographique du capital⁷⁸ et le fait qu'elle soit une stratégie de maintien des profits – est finalement spéculative.

Si notre but n'est pas de la discuter sur le plan théorique⁷⁹, la rupture lefebvrienne nous intéresse directement. Situé dans un courant marxiste non-économiste, ne développant pas tout son raisonnement à partir de la valeur-travail, Lefebvre ne vient pas ajouter une dimension (l'espace), finalement abstraite, aux autres⁸⁰, mais propose une théorie générale de

73. Lefebvre reproche à la science de l'espace de se contenter de descriptions et découpages qui n'apportent que des inventaires de ce qu'il y a *dans* l'espace ou, au mieux, de tenir un discours *sur* l'espace.

74. Pour les mêmes raisons que celles avancées par André Orléan. Voir : M. Aglietta et A. Orléan, *La violence de la monnaie*, 2ème édition, économie en liberté, Paris, PUF, 1984 ; A. Orléan, *L'empire de la valeur : refonder l'économie*, Couleur des idées, Paris, Seuil, 2011.

75. David Harvey est l'un des seuls à avoir formulé une explication théorique à la production d'espace capitaliste : la construction d'infrastructures pour gérer une crise de suraccumulation. L'amortissement des investissements dans des infrastructures durables (transport, réseaux de communication, mais aussi éducation et recherche) s'étale, par le biais des activités productives qu'ils soutiennent, sur le long terme. Harvey affirme que les capitaux excédentaires sont dirigés vers des projets qui prennent de nombreuses années à remettre en circulation leur valeur, et que ces investissements sont le plus souvent liés à une expansion géographique du système. Voir : D. Harvey, *Le nouvel impérialisme*, Penser/Croiser, Paris, Les Prairies ordinaires, 2010 ; D. Harvey, *Les limites du capital*, Lignes rouges, Paris, Éditions Amsterdam, 2020.

76. A notre avis, un des défauts du livre de Jappe, qui se focalise sur les architectes et l'espace produit, et non la production : A. Jappe, *Béton. Arme de construction massive du capitalisme*, Paris, L'échappée, 2020.

77. Lors de sa venue à Paris en 2019, alors que nous terminions notre deuxième année de thèse, il a débuté son exposé par un graphique sur la production mondiale de ciment, en répétant que cette accumulation matérielle était le fait majeur de notre époque qu'il fallait examiner. Cette thèse lui répond très partiellement.

78. Lefebvre l'annonce également : "le capitalisme, et plus généralement la croissance n'ont pu se maintenir qu'en s'étendant à l'espace entier : *le sol* (en absorbant comme on pouvait le prévoir dès le XIXe siècle la ville et l'agriculture, - mais aussi en créant de nouveaux secteurs, les loisirs notamment), les *sous-sols*, c'est-à-dire les ressources cachées jusqu'au fond des mers et des terres, en énergie, en matières premières – et enfin ce qu'on pourrait appeler le *sur-sol*, c'est-à-dire les volumes, les constructions en hauteur, l'espace des montagnes et des planètes. L'espace, la terre, le sol, n'ont pas disparu, absorbés par la production industrielle ; au contraire : intégrés au capitalisme, ils s'affirment comme éléments ou fonctions spécifiques, dans son extension." Lefebvre, *La production de l'espace*, *op. cit.*, 375, en italique dans le texte.

79. Pour une discussion théorique de la production de l'espace, lire la thèse (à venir) de Hugo Claret.

80. De fait, une part importante de ces recherches sont coupées de tout substrat matériel. Les travaux de Lipietz portent par exemple sur des superficies qui se différencient pour des raisons historiques mais qui restent a-matérielles. Son objet, partagé avec d'autres en géographie économique, est de comprendre comment la plus-value se décline et se propage spatialement.

l'espace. Son concept de production de l'espace, que nous privilégions à d'autres⁸¹, affirme d'emblée que l'espace social est un produit social – par conséquent, l'espace n'est pas qu'une réalité instrumentale, il n'est pas neutre ou intangible. L'inversion qu'il opère consiste à passer des espaces produits à la production – sans restreindre ce mot à la conception étroite de l'économiste⁸². Lefebvre nous fournit là un solide outil de dénaturalisation du bâti. Son postulat est simple : une société ne peut se comprendre comme une collection de gens et de choses dans l'espace, et ne peut se concevoir à partir de textes et discours sur l'espace. Sa *pratique spatiale*, la manière dont elle a façonné son espace propre, doit être au cœur de toute analyse qui prétend l'étudier. Cette pratique spatiale traduit la manière dont les individus et les collectivités se comportent face à l'espace produit qui se dresse devant eux. Aussi l'espace contient et dissimule-t-il toujours des rapports sociaux : modelé à l'image des rapports sociaux qui constituent la société, c'est un produit collectif reflétant les valeurs et les représentations de ceux qui le façonnent. Loin d'être passif, il est, en même temps qu'un moyen de production, un instrument à la pensée comme à l'action et un moyen de contrôle donc de domination et de puissance (chap. 4). L'espace est donc une médiation fondamentale de l'activité sociale et, à ce titre, source d'historicité. La production de l'espace est un processus permanent, à la fois matériel, technique et idéologique. Surtout, il est nécessairement conflictuel du fait des frictions entre l'espace conçu des planificateurs et urbanistes, avec l'espace vécu des usagers et habitants⁸³ – une tension qui s'exprime lors de conflits ouverts (chap. 1). Lefebvre insiste sur la superposition des espaces produits par d'autres rapports sociaux, l'impossible maîtrise absolue du processus⁸⁴, et le fait que le nouveau mode de production n'efface pas l'espace produit préexistant, modelé à d'autres fins (chap. 4). Si la société capitaliste l'intéresse spécifiquement, cette conceptualisation très générale ne lui est donc pas réservée.

Sa thèse centrale est que, pour perdurer, le mode de production capitaliste produit, en même temps que certains rapports sociaux, son espace et son temps. Comme tout autre mode de production, il a une *pratique spatiale* propre. Sa contradiction spécifique et inhérente tient au besoin de donner une forme marchande à l'espace⁸⁵. Selon lui, cette approche permet de

81. Sur les critiques de ce terme, et des notions alternatives, voir : M. Adam, « La production de l'urbain durable. L'enrôlement des concepteurs et des habitants par l'intégration des contradictions », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université François – Rabelais de Tours, 2016, p. 129-132.

82. Selon lui, Marx a une acception plus large de ce terme (une production peut aboutir à des œuvres multiples et des formes diverses), mais il le circonscrit à l'acception de l'économie politique de son temps pour analyser les rapports de production et l'exploitation propres au capitalisme : Lefebvre, *La production de l'espace*, *op. cit.*, p. 83-84.

83. Lefebvre définit une triplicité que nous n'utiliserons pas. Schématiquement, le “perçu” est l'espace des pratiques à travers lesquelles les individus et les groupes formulent l'espace en le produisant et/ou en se l'appropriant (c'est une réalité empiriquement observable) ; le “vécu” regroupe tous les aspects symboliques de l'expérience de l'espace des agents (la thèse de Mathieu Adam confond tout le long “vécu” et “perçu”) ; le “conçu” se rattache aux représentations de l'espace, nécessairement idéologiques, des savants, planificateurs et urbanistes (qui identifient vécu et perçu au conçu). Voir : *ibid.*, p. 48-57, 415-419.

84. “même le néo-capitalisme ou capitalisme d'organisations, même les planificateurs et programmeurs technocratiques ne produisent pas un espace en pleine et entière connaissance des causes, des effets, des raisons et implications.” *ibid.*, p. 47.

85. Dans la rationalité du capital, l'espace est, comme n'importe quelle autre marchandise, doublement constitué d'une dimension concrète et d'une dimension abstraite. Ce qui fait la spécificité du capitalisme est la place désormais dominante et structurante occupée par la spatialité abstraite. La contradiction chez Lefebvre ne se déduit pas, comme chez Harvey, d'une raison économique mais de l'antagonisme concret /

dépasser les “représentations vulgarisées” (sic) en termes de “pollutions” et d’environnement pour aller à la racine des problèmes⁸⁶. Il ne cesse de rappeler que la logique du capital n’est pas totalitaire, ou ne parvient jamais à l’être, car les particularités des lieux, le concret de l’espace, interviennent sans cesse. Le mode de production capitaliste produit un espace, mais les caractéristiques de l’espace ne se ramènent pas aux caractéristiques générales du mode : il invite ainsi à aller au-delà du seul espace de la valeur monétaire et à éviter tout réductionnisme à l’économique⁸⁷.

Alors qu’il incite à l’enquête, en professant de nombreux conseils méthodologiques, son travail pêche, comme d’autres marxistes (et sans doute parce que Lefebvre refuse que la pensée analytique vienne découper le réel), sur le plan des preuves – qui restent toutes à un niveau théorique élevé. Ainsi, s’il affirme que les pratiques spatiales sont la cause de la production matérielle de l’espace, et de sa reproduction, il n’explique pas comment elles opèrent. Le plus grand paradoxe chez Lefebvre est qu’il fournit des analyses du rôle d’espaces déjà produits (avec des exemples, en Grèce à l’Antiquité, en Italie à la Renaissance), et de leurs effets, et jamais de l’activité même de production, lors même qu’il insiste sur le fait que générer un espace social approprié ne s’accomplit pas en un jour et qu’il s’agit d’un processus. Dit de façon provocante : son fameux ouvrage *la production de l’espace* n’étudie pas *la production de l’espace*. Notre enquête, au contraire, suivant une préconisation de Karl Marx, plonge dans la sphère de cette production. C’est là que s’assemblent, d’après les économistes, les facteurs de production (capital et travail) pour produire la marchandise⁸⁸ – ici un capital fixe⁸⁹. Comme Lefebvre le suggère, ainsi que toutes les archives, il faut ajouter le facteur matière pour saisir les opérations réalisées dans cette sphère⁹⁰.

Cette excursion lefebvrienne nous conduit à reformuler légèrement notre projet. Remarquons que, si elle insiste peut-être davantage sur les idéologies et les conflits, la production

abstrait : L. Gaudreau, « La fixation du capital dans la propriété foncière. Etude de l’évolution des conditions spatiales de la reproduction du capitalisme », Thèse de doctorat en sociologie, Université du Québec, 2013.

86. Il a cette phrase étonnante : “La pollution ? Elle a toujours existé ; les groupes humains, villages et villes, ont toujours déversé dans la nature des déchets et des résidus ; mais la symbiose (l’échange d’énergies, de matériaux) entre la nature et la société a été modifiée, sans doute rompue. Ce que dit et dissimule le mot “pollution”, qui métaphorise des phénomènes familiers : les ordures, les fumées, etc. Quant à l’environnement, c’est une métonymie typique : on passe de la partie – le fragment de l’espace plus ou moins bien occupé par des objets et des signes, des fonctions et des structures – au tout, vide et défini comme “milieu” neutre et passif”. Lefebvre, *La production de l’espace, op. cit.*, p. 376.

87. “une erreur désastreuse qu’un certain nombre de marxistes continuent à faire” : H. Lefebvre, « Introduction à l’espace urbain », *Metropolis* 22 (1976), p. 24-31.

88. Pour Marx, c’est le lieu où se réalise l’extorsion de plus-value par l’exploitation du travail.

89. Certaines recherches en Économie Écologique désignent explicitement les stocks de matière comme du capital fixe. Nous verrons que c’est également le cas de nombreux ingénieurs et administrations. Comme le remarque Lefebvre, avec l’extension du capitalisme, le concept de capital fixe se reconsidère car il ne peut plus désigner seulement l’outillage, les locaux et matières premières dans les entreprises : il “s’étend aux investissements dans l’espace (autoroutes, aéroports) et à toutes sortes d’équipements” (p. 398).

90. Selon lui, l’œuvre de Marx est inachevée car celui-ci se contente de l’opposition binaire entre travail et capital. Or ceci “présuppose la subordination de l’historique à l’économique (...) la dissolution ou l’absorption par l’économique comme tel de multiples formations venues du temps historique (la ville, entre autres), donc antérieurs eux-mêmes au capitalisme. Dans un tel schéma, l’espace de la pratique sociale passe inaperçu”. Dans la suite, il insiste sur le fait que l’ajout du facteur terre doit aller plus loin que les théories de rentes foncières – qui dominent chez d’autres auteurs marxistes. On constate encore son refus de tout economicisme : Lefebvre, *La production de l’espace, op. cit.*, p. 373.

de l'espace chez Lefebvre est similaire, dans l'intention, à l'aménagement du territoire (sans majuscule) de Fournier et Massard-Guilbaud. Dans les deux ruptures, un cas particulier, mais fondamental, est donné : la production d'espace capitaliste pour le premier ; l'AT pour les autres. Ces deux exemples se recoupent largement mais pas intégralement puisqu'il existe une production d'espace capitaliste qui n'est pas dans l'AT (une usine qui s'implante en suivant une logique de marché) et, inversement, des projets d'AT qui sont relativement orthogonaux, ce qui ne signifie pas qu'ils sont opposés, à la raison capitaliste (écoles, stations d'épuration). Ces deux propositions évitent le piège du réductionnisme économiciste puisqu'elles admettent bien une pluralité de productions ou d'aménagements – y compris dans une société capitaliste moderne. Si notre enquête répond aux deux démarches, nous privilégions la conception de la production d'espace qui marque l'importance de l'accumulation capitaliste.

III.2 Institutionnalisme historique

Si la thèse que le capital ne se reproduit qu'en produisant un espace est nécessairement vraie (sinon il aurait disparu), elle reste sous-déterminée et demande à être précisée, par l'examen de ses réalisations historiques. Ceci exige, si l'on écarte la possibilité de "lois" de production de l'espace universelles⁹¹, de rendre compte de la façon dont les pratiques spatiales produisent et reproduisent effectivement l'espace, et d'expliquer ce qui, dans cet espace, lui est nécessaire en des lieux et des époques⁹². Le cadre théorique et épistémologique qui convient le mieux pour mener l'enquête est celui de l'institutionnalisme historique, et de la Théorie de la Régulation (TR) qui s'en revendique⁹³. Sans espace et sans matière, ni dans son cadre d'analyse, ni dans ses objets d'intérêt, la TR a tous les attributs d'une théorie contre-indiquée pour notre enquête⁹⁴. Cette thèse s'en revendique pour trois raisons.

D'abord, comme macroéconomie qui rompt avec les schémas marxistes basés sur la valeur travail (et la baisse tendancielle du taux de profit⁹⁵). Nous adoptons ainsi sa conception du capital et du capitalisme. Le premier n'est pas qu'un patrimoine (comme chez Thomas Piketty), mais un ensemble de rapports sociaux contradictoires (rapports salarial, marchand et monétaire). Le second s'observe dans des régimes historiques. L'hypothèse fondamentale est

91. Même du point de vue marxiste, aucune loi ne peut expliquer les différences entre villes, car elle négligera toujours les modalités spécifiques et locales du déploiement et de la régulation du système capitaliste.

92. Pour une histoire mondiale, néanmoins a-matérielle, de l'industrie de la construction, voir : M. Linder, *Projecting capitalism : a history of the internationalization of the construction industry*, Greenwood Press, Contributions in Economics and Economic History 158, Westport ; London, 1994.

93. Bruno Théret trace une filiation entre le structuralisme génétique de Lefebvre, opposé au structuralisme idéologique (celui d'Althusser et Foucault), et la TR. Les partisans du structuralisme génétique ne conçoivent pas la société comme un système totalement structuré, comme les autres structuralismes, et acceptent l'idée d'une genèse historique des structures : B. Théret, « Institutionnalismes et structuralismes : oppositions, substitutions ou affinités électives ? », *Cahiers d'économie Politique* 44.1 (2003), p. 51-78 ; voir aussi : V. Descombes, *Les institutions du sens*, Critique, Paris, Editions de minuit, 1996.

94. Le fait que la TR fasse référence à des surfaces terrestres différentes, comme des pays, n'a aucun rapport avec une intégration de l'espace matériel. Ceci vaut pour les quelques travaux de géographie économique qui cherchent à expliquer les différences de croissance entre régions. La proposition d'une "socio-économie politique de l'environnement" montre l'intérêt à utiliser le cadre régulationniste : Douai et Vivien, *op. cit.*

95. Robert Boyer l'exprime pudiquement : "Une autre différence avec la tradition marxiste tient aux doutes qu'entretient la théorie (TR) quant à l'existence de lois générales dérivant de la seule appartenance d'une économie au mode de production capitaliste" : R. Boyer, *Économie politique des capitalismes : théorie de la régulation et des crises*, Paris, La Découverte, 2015, p. 42.

que le capitalisme, de par la conflictualité propre aux rapports sociaux qui le définissent, ne s'équilibre que temporairement, au travers d'un ensemble d'arrangements institutionnels – dont la configuration, jamais prévisible *ex ante*, ne peut être expliquée que *ex post*⁹⁶. Cette façon de poser le problème en termes de régulation par un ensemble de formes institutionnelles, qui situe d'emblée l'analyse dans une perspective historique⁹⁷, loin des lois économiques an-historiques du courant néoclassique, est propre à la TR. Le concept de *régulation*, qui lui donne son nom, provient en effet de Georges Canguilhem⁹⁸ et du postulat qu'il ne va pas de soi qu'un ensemble de mouvements disparates trouve une cohérence sans ingénieur-système. Il ressort de cette conception qu'il faut distinguer les capitalistes au niveau micro et le régime macroéconomique : affirmer que des groupes capitalistes suivent leurs intérêts en cherchant toujours davantage de rentabilité, et qu'ils parviennent parfois à imposer leurs choix, ne signifie pas que cela soit bénéfique au régime dans son ensemble. Loin d'évoquer une succession de faits économiques, ou un "contexte économique" qui serait à l'arrière-plan, la TR décrit la dynamique d'ensemble du capitalisme français au travers de deux régimes d'accumulation, des configurations des arrangements institutionnels assez stables pour se maintenir sur une période relativement longue, le Fordisme et le Néolibéralisme⁹⁹. Partant de l'idée qu'un régime a la crise de sa structure, la TR explique le moment de crise du Fordisme par son mouvement endogène¹⁰⁰ : entre autres éléments, l'internationalisation dans les années 1960 et 1970, dont un des signes est l'importance croissante du commerce extérieur, contribue à son succès ainsi qu'à sa crise¹⁰¹. Nous mobiliserons, et compléterons, ce résultat en accordant une attention particulière à cette période, lorsque la Grande Accélération s'observe le mieux et que ce régime connaît son heure de gloire du point de vue de la croissance économique. Cette dynamique sera régulièrement illustrée avec les complexes industriels de Fos et Dunkerque¹⁰²,

96. "comment des entités *a priori* indépendantes (par extension, les formes institutionnelles) peuvent-elles impliquer une évolution d'ensemble compatible avec leur coexistence et persistance, bref former système (en l'occurrence économique)? Si la réponse est positive, on convient d'appeler mode de régulation l'ensemble des mécanismes économiques impliqués" : *ibid.*, p. 42.

97. P. Petit, « Formes structurelles et régimes de croissance de l'après fordisme », *L'année de la régulation* 2 (1998), p. 169.

98. Celui-ci l'importe de la mésologie – l'étude des milieux. "La régulation, c'est l'ajustement (...) d'une pluralité de mouvements ou d'actes et de leurs effets ou produits que leur diversité ou leur succession rend d'abord étrangers les uns aux autres". Suivant les pas de Canguilhem, Foucault esquisse ainsi en 1978 l'idée d'un gouvernement des hommes par leur milieu de vie. Voir : G. Canguilhem, *Régulation (épistémologie)*, dans : *Encyclopaedia Universalis*, t. 15, 1985, p. 797-799 ; F. Taylan, *Mésopolitique : connaître, théoriser et gouverner les milieux de vie, 1750-1900*, Homme et société 3, Paris, Publications de la Sorbonne, 2018.

99. Ce mot en majuscule ne désigne pas une politique économique ou une idéologie, mais la configuration historique du capitalisme depuis la fin des années 1970 – il serait plus précis, mais plus long, de le nommer capitalisme néolibéral ou financiarisé.

100. La TR tire sa spécificité de son hypothèse centrale d'une transformation endogène des formes institutionnelles. Elle conçoit la transformation d'un système sous l'effet de son propre mouvement : F. Lordon, éd., *Conflits et pouvoirs dans les institutions du capitalisme*, Gouvernances, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2008 ; Boyer, *op. cit.*

101. Un paradoxe que la TR est capable d'expliquer là où d'autres courants utilisent des hypothèses *ad hoc* : H. Bertrand, « Une nouvelle approche de la croissance française de l'après-guerre : l'analyse en sections productives », *Statistiques et études financières* 35.1 (1978), p. 3-36.

102. L'industrialisation de Dunkerque est décidée et construite de toutes pièces par l'État, notamment par l'intermédiaire des Ve (1966) et VIe (1971) plans. Le choix des sites industriels qui recevront d'importants investissements publics est réalisé par la DATAR : B. Laperche et D. Uzunidis, « Crise, innovation et renouveau des territoires : dépendance de sentier et trajectoires d'évolution : » *Innovations* 35.2 (2011), p. 159-182.

des espaces produits qui symbolisent les grandes mutations matérielles à l'œuvre, y compris la domination croissante du pétrole¹⁰³. À partir du tournant des années 1980 débute un régime marqué par les délocalisations, en particulier des industries lourdes, un développement des espaces logistiques et une dépendance matérielle inouïe au reste du monde¹⁰⁴.

Ensuite, la TR est pertinente en ce qu'elle adopte une perspective holistique sur les évolutions historiques qui tient compte de l'idéologie et du pouvoir symbolique différencié des agents¹⁰⁵. Ainsi, elle admet qu'il existe des combats sur toutes les définitions, notions ou concepts¹⁰⁶, et va à l'encontre des théories qui nient les déterminants du discours¹⁰⁷. Elle peut alors rejoindre, en toute rigueur, les sociologues et historiens qui montrent que les cadrages utilisés pour discuter de certains problèmes mobilisent des notions au service d'une certaine idéologie. Ceci aide à comprendre comment certains groupes sociaux peuvent attribuer certaines qualités à un espace (imposer leur espace conçu¹⁰⁸ selon Lefebvre) selon leurs intérêts. La mise en lumière de la construction de la légitimité d'une institution¹⁰⁹ à décréter l'existence d'un problème, et sa disparition, sera très utile dans le chapitre 5.

Enfin, l'institutionnalisme historique, ou structuralisme institutionnaliste¹¹⁰, fournit une base solide pour rendre compte des transformations dynamiques et de l'historicité des systèmes analysés¹¹¹. La TR cherche à dépasser le fonctionnalisme et l'anti-historicisme caractéristique de certains structuralismes. Au contraire des rapports élémentaires du structuralisme qui demeurent identiques à eux-mêmes et n'intègrent aucun principe de contradiction, ceux de la TR sont conflictuels et contradictoires, donc susceptibles d'évolution. Si la genèse des institutions repose sur la résolution de conflits inhérents aux rapports sociaux qui structurent les sociétés, la fonction d'une forme institutionnelle particulière ne se comprend qu'après coup

103. A Fos, l'import-export de produits bruts et raffinés grimpe de 4 Mt en 1948 à 79 Mt en 1979 : F. Bartolotti, « Les autorités portuaires face aux pollutions pétrolières dans l'étang de Berre et le golfe de Fos (1945-1979) », *Rives méditerranéennes* 61 (2020), p. 48.

104. Magalhães et al., *op. cit.*; Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

105. La dimension idéale et idéologique, pourtant cruciale en dernière analyse comme déterminant des flux, est absente des travaux de l'Écologie Territoriale.

106. Y compris "institutions" et "structures" : Théret, « Institutionnalismes et structuralismes », *op. cit.*

107. Comme c'est le cas des sociologies pragmatiques. Voir : B. Amable et S. Palombarini, *L'économie politique n'est pas une science morale*, Cours et travaux, Paris, Raisons d'agir, 2005.

108. Selon nous espace vécu et espace perçu sont les traductions différenciées de la conception de l'espace, telle qu'elle est inscrite dans l'habitus des agents. Bourdieu définit l'habitus comme l'ensemble des pratiques et des représentations qui modèlent les individus.

109. F. Lordon, « La légitimité n'existe pas : Éléments pour une théorie des institutions », *Cahiers d'Économie Politique* 53.2 (2007), p. 135-164.

110. La TR conserve institutions et structures pour étudier les faits économiques. Il existe des approches institutionnelles sans structures sociales, comme le courant néo-institutionnel, sans doute dominant aujourd'hui, et d'autres structuralistes qui négligent les institutions, comme les théoriciens de la dépendance qui se contentent d'un holisme formaliste et systémiste. Sur les trois principaux institutionnalismes (rationnel, historique, sociologique) et structuralismes (sémiotique, philosophique et génétique), voir : Théret, « Institutionnalismes et structuralismes », *op. cit.*; B. Billaudot, « Une vision institutionnaliste, historique et pragmatique de l'objet de la science économique », *L'Homme et la société* 170-171.4 (2008), p. 93-126; F. Lordon, *La société des affects : pour un structuralisme des passions*, L'Ordre philosophique, Paris, Seuil, 2013.

111. C'est là une différence importante avec l'Écologie Territoriale qui s'intéresse souvent aux seuls acteurs ou institutions immédiatement visibles, ou au "contexte institutionnel" d'un territoire donné, en négligeant les mécanismes invisibles, dont la prise sur les flux est parfois plus déterminante dans les dynamiques.

en raison du système institutionnel dans lequel elle s'inscrit ¹¹². De l'antagonisme et du changement peuvent donc résulter des interactions institutionnelles – qui peuvent ne plus être en mesure de reconduire l'ordre qu'elles soutenaient. Ce structuralisme dynamique, dans lequel une même structure peut prendre la forme d'une pluralité de modèles, sera particulièrement utile pour expliquer les dynamiques de l'extractivisme ordinaire (chap. 1) et de la valorisation de grandes masses de déchets (chap. 5). Suivant ces heuristiques, nous serons sensibles aux tensions, ruptures et crises, ainsi qu'aux moments d'institutionnalisation, dont le poids est structurant, en essayant de cerner ce qui s'y joue de spécifique (chap. 4).

A partir de l'ES, de Lefebvre et de la TR, nous introduisons le concept de *pratique spatiale d'un régime d'accumulation* pour désigner la production d'espace qui lui est nécessaire pour se maintenir dans le temps. Il a la vertu de réunir quelques éléments nécessaires à la reproduction dynamique d'un système (les flux biophysiques pour l'ES) et d'un régime d'accumulation (les formes institutionnelles pour la TR). A ce stade, ce concept reste encore sous-déterminé et inopérateur, mais cette définition minimale laisse ouverte la possibilité d'une diversité, et donc une hétérogénéité, de dynamiques historiques de la production d'espace capitaliste. Loin de figer une définition *ex ante*, qui court le risque d'être inutile à l'intelligibilité des situations concrètes, ce contenant est peu à peu rempli d'un contenu – un ensemble de caractéristiques que nous sommes en mesure de mettre en évidence *ex post* grâce à l'enquête ¹¹³. Si nous allons le déplier au fil des chapitres, quelques remarques peuvent déjà être émises sur ce concept : comme il condense structures sociales et matérielles, il ne court pas le risque de coupure ; la pratique se rattache au régime d'accumulation tout entier, et non pas à un régime politique, à l'État ou aux individus ; rien ne dit *a priori* que la production d'un certain espace, même à finalité explicitement capitaliste, soit incluse dans la pratique spatiale du régime ; par construction, nous ne pourrions la saisir que sur le territoire métropolitain.

IV Infrastructures

Toute cette clarification théorique, tant sur la construction de l'objet que sur les bases épistémologiques nécessaires à l'étude, est indispensable pour éviter les descriptions interminables, et ras du sol, d'un empirisme naïf. Pourtant, quand bien même elle serait encore plus raffinée, elle resterait d'un intérêt très limité, voire nul, sans terrain précis. Loin des méta-théories, cette thèse est d'abord et surtout une enquête détaillée de l'historicité du bâti – sur lequel un récit pré-établi (celui de l'AT ou de David Harvey) échoue nécessairement. C'est dans cette optique qu'un ensemble cohérent d'outils a été construit au fur et à mesure de l'avancée de l'enquête. Comme l'objet "production d'espace", la proposition conceptuelle

112. La conception fonctionnaliste conçoit les institutions comme des technologies sociales, qui évoluent et s'adaptent en réponse aux nouveaux rôles qu'elles sont supposées tenir dans l'économie. La TR étudie les institutions sans fonctionnalisme : les facteurs au principe de la genèse d'une institution peuvent ne pas être les mêmes que ceux qui la reproduisent dans le temps. Les institutions sont le produit de stratégies contradictoires qui n'ont pas pour objectif le fonctionnement optimal du système économique – aussi, il est nécessaire de prendre en compte les intérêts divergents des groupes sociaux. Voir : A. L. Stinchcombe, *Constructing Social Theories*, New York, Hartcourt, Brace & World, 1968 ; Amable et Palombarini, *op. cit.*, p. 28-29.

113. Cette proposition conceptuelle est venue, dans le temps chronologique de ce travail, après l'enquête empirique. C'est le mouvement abductif classique : "aller voir" sur le terrain avec les lunettes de l'ES, Lefebvre ou la TR, et revenir à la théorie après avoir longuement enquêté.

qui fournit une unité à la thèse, est un processus générateur, il n'est possible de l'appréhender que par ses effets. A cette fin, notre choix s'est porté sur les grandes infrastructures de transport et d'énergie, et en particulier le réseau routier.

IV.1 Grandes infrastructures

L'histoire du terme infrastructure, qui recoupe aujourd'hui des réalités extrêmement hétérogènes, des égouts aux *data centers* en passant par les fibres optiques ou les raffineries, est riche d'enseignements pour notre recherche¹¹⁴. Il apparaît en effet en France lors de la construction des voies ferrées – et n'est importé par la langue anglaise qu'en 1927 – pour désigner une partie des travaux publics qui revient à l'État en opposition à la superstructure qui est à la charge des entreprises privées¹¹⁵. L'*infrastructure* est topologiquement sous la voie à venir, et consiste, chronologiquement, en la construction (terrassements, tunnels, ponts) qui précède la *superstructure* qui est constituée des voies ferrées et gares, construite au-dessus – une distinction, étrangère à celle (bien plus connue) développée par Karl Marx, qui sera utile pour la thèse. En ce sens, l'affirmation de Tim Ingold, souvent reprise, que les ingénieurs des routes transforment le sol en une *infrastructure* solide sur laquelle s'appuie la *superstructure* que constitue le bâti n'est rien d'autre qu'une constatation historique¹¹⁶. Non seulement la production de grandes infrastructures est solidaire d'une rationalité économique¹¹⁷, mais les questions qui émergent accompagnent le développement de calculs qui sont à la base de la théorie néoclassique¹¹⁸.

Cette thèse, et il s'agit d'un point de rupture clé qui nous met à distance relative du champ des études urbaines, ne traite pas, ou très marginalement, de l'importante production de bâtiments, qui, du fait de la grande hétérogénéité des forces propres à chaque ville ou quartier, a une composante idiosyncratique, souvent locale, très importante¹¹⁹. Plutôt que

114. A. Carse, « Keyword : Infrastructure. How a humble French engineering term shaped the modern world », dans : *Infrastructures and social complexity : a companion*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Culture, Economy and the Social, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017, p. 27-39.

115. La loi du 11 juin 1842, dite "Charte des chemins de fer", a ainsi instauré une séparation nette entre l'infrastructure (terrains et bâtiments, les terrassements, les ouvrages d'art et stations) à la charge de l'État et la superstructure (la voie de fer, le matériel et les frais d'exploitation, les frais d'entretien et de réparation du chemin, etc.) à la charge des compagnies. Ce sont les termes repris par le Littré (1875) : "Terme de génie civil. Nom donné aux terrains, aux terrassements et aux travaux d'art d'une voie ferrée."

116. La "pensée moderne" s'appuie sur cette infrastructure qui n'est, croit-il nous révéler, pas si solide : T. Ingold, *The life of lines*, London ; New York, Routledge, 2015, p. 45.

117. Les voies de communication sont un cas classique d'une situation de monopole naturel, avec des coûts fixes importants et des rendements croissants. Les deux parties sont séparées artificiellement, et prises en charge : par les pouvoirs publics pour l'*infra* ; par des agents privés en compétition pour le *supra*. Voir : G. Numa, *Réglementations et concurrence dans les chemins de fer français : 1823-1914*, Bibliothèque de l'économiste 1, Paris, Classiques Garnier, 2013.

118. Dans sa réflexion sur l'utilité des travaux publics, l'ingénieur Jules Dupuit développe dès 1844 le concept central de l'école néoclassique, celui d'utilité marginale. Inspiré par la mécanique industrielle, il s'agissait pour lui de fournir un nouveau critère de gestion pour arbitrer dans les choix d'investissement. Dupuit n'est pas un précurseur selon François Vatin, qui admet que le calcul d'ingénieur a nourri la théorie néoclassique naissante. J.-P. Simonin et F. Vatin, éd., *L'oeuvre multiple de Jules Dupuit (1804-1866), Calcul d'ingénieur, analyse économique et pensée sociale*, Angers, Presses universitaires d'Angers, 2002 ; F. Vatin, « L'esprit d'ingénieur : pensée calculatoire et éthique économique », *Revue Française de Socio-Économie* 1.1 (2008), p. 131-152.

119. Celle-ci a surtout étudié la période de l'après-guerre lorsqu'une préfabrication des logements a été développée : B. Vayssièrre, *Reconstruction-déconstruction. Le "hard french" ou l'architecture des Trente Glorieuses*,

de réaliser une monographie en figeant la focale sur une étude de cas, ou une seule construction isolée du reste, nous avons souhaité considérer un nombre très important de grandes infrastructures (essentiellement ports, autoroutes, aéroports, LGV, routes nationales, canaux et barrages) redevables de politiques nationales et d’une intelligibilité à cette échelle, pour tenter de saisir simultanément les régularités dans la production d’espace et les écarts et similarités entre les différents types de travaux. Si nous étions particulièrement intéressés par la Grande Accélération, c’est-à-dire le Fordisme, nous avons progressivement élargi la période, vers le XIXe et jusqu’à aujourd’hui, pour éclairer les spécificités de cette rupture dans la dynamique longue de la production de l’espace. De façon surprenante, au vu de l’importance de ces objets pour l’ordre social, la littérature qui s’intéresse aux infrastructures au XXe siècle en France est maigre¹²⁰ – et aucun travail n’adopte notre perspective matérielle¹²¹. Outre qu’elle isole parfois les réseaux les uns des autres, l’historiographie a comme défaut de se consacrer principalement aux nouvelles constructions¹²² – négligeant par là, ou sous-estimant, les transformations d’infrastructures existantes. Lorsque qu’elle examine leur évolution, comme dans certains récits de l’AT, c’est le plus souvent l’histoire d’une “adaptation” qui est racontée : l’infrastructure ou le réseau se transforme implacablement, parfois avec quelques difficultés, par adaptation successive à une entité abstraite (la modernité, le progrès, les “besoins de l’économie”), mais aussi à de nouveaux véhicules (voir section 4.2.5).

Le choix de ces grandes infrastructures, lieux où se concentrent d’importants pouvoirs (financier, technique, symbolique), nous fait glisser dans la production d’espace capitaliste¹²³ et conduit à des biais non négligeables qu’il s’agit de contrôler dans les inférences et les conclusions qui pourraient être tirées de l’enquête. Cette focale sur la partie la plus importante, en poids, de la production d’espace oblige, par exemple, à considérer de grandes organisations et institutions (État, grandes entreprises) dont la participation est omniprésente. L’étude d’une production d’espace non capitaliste, par des acteurs moins puissants, conduirait certainement à des conclusions totalement différentes.

Paris, Picard, 1988 ; Voldman, *op. cit.* ; Y. Delemontey, *Reconstruire la France. L’aventure du béton assemblé, 1940-1955*, Editions de La Villette, 2015 ; G. Legoullon, « La construction des grands ensembles en France : émergence de nouvelles vulnérabilités environnementales », *Vertigo [en ligne]* 16.3 (2016).

120. Si elle connaît une vigueur toute récente, la littérature francophone, très focalisée sur les idéologies et les imaginaires associés aux grandes infrastructures, est bien maigre : J. Milanese, *L’imaginaire des grandes infrastructures de transport*, 2018 ; Lopez, *op. cit.* ; F. Jarrige, S. Le Courant et C. Paloque-Bergès, « Infrastructures, techniques et politiques », *Tracés. Revue de Sciences humaines* 35 (2018), p. 7-26.

121. Le titre d’un récent ouvrage collectif est à cet égard trompeur. L’intention annoncée (“une conception qui met en avant à la fois la matérialité des infrastructures et leur capacité à affecter le “grand nombre” de façon plus ou moins pérenne”) est largement absente : K. Chatzis et al., éd., *Les métamorphoses des infrastructures, entre béton et numérique*, Bruxelles, Peter Lang, 2018.

122. Depuis les canaux et chemins de fer au XIXe aux autoroutes : G. Ribeill, « Aspects du développement du réseau ferré français sur la longue durée. L’approche historique », *Cahier / Groupe Réseaux* 1.1 (1985), p. 10-25 ; P. Miquel, *Histoire des canaux, fleuves et rivières de France*, Paris, Edition n°1, 1994 ; F. Caron, « La naissance d’un système technique à grande échelle. Le chemin de fer en France (1832-1870) », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 53.4 (1998), p. 859-885.

123. Que l’État soit omniprésent dans sa promotion, conception et réalisation ne change rien au fait qu’elle bénéficie objectivement à l’accumulation du capital.

IV.2 Infrastructure *studies*

Les littératures les plus abondantes sont anglophones et désormais regroupées dans les *Infrastructures Studies*¹²⁴. L'entrée "infrastructure", comme terrain ou comme armature conceptuelle, y est régulièrement mobilisée pour penser à nouveaux frais des questions traditionnelles des sciences sociales : les idéologies, l'État, les rapports entre politique et expertise technique, les conflits, ainsi que la réorganisation de l'espace que les infrastructures provoquent¹²⁵. Au sein de ce sous-champ, ou en lien direct avec lui, le courant du *new materialism*¹²⁶ se donne pour objectif de prendre au sérieux l'importance de la matière dans les rapports sociaux, et de dépasser le seul intérêt des effets des rapports sociaux sur les objets¹²⁷.

Elle est pourtant insatisfaisante pour notre recherche. Sa prise en compte de la matérialité des systèmes sociotechniques glisse en effet souvent vers un cadre de pensée beaucoup trop fragile, et ambigu sur le terme "politique", pour mener l'enquête. Admettant, à la suite de Latour et d'autres, l'*agency* du non-humain et de la matière, symétrique à celle des humains, un point commun consiste à affirmer que la politique ne serait pas qu'une affaire d'humains¹²⁸. Ainsi, Jane Bennett, auteure souvent citée, présente les éléments techniques comme des "assemblages infrastructurels" possédant leur propre *agency* dans les tensions infrastructurelles. Il est, selon elle, inadéquat de penser les crises des infrastructures comme le fruit d'éléments politiques ou économiques ou de transformations de leurs régulations. Cette approche rejette les causalités sous prétexte que les assemblages sont trop complexes¹²⁹ et que l'*agency* est omniprésente. L'étude s'arrête ainsi à l'objet et ses représentations, mais reste opposée, ou du moins réticente, à une analyse plus générale. Une autoroute, un instrument scientifique

124. La littérature voisine des *Large Technical Systems* se concentre sur les systèmes énergétiques, numériques et de la connaissance.

125. P. N. Edwards, « Infrastructure and Modernity : Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems », dans : *Modernity and Technology*, sous la dir. de T. J. Misa, P. Brey et A. Feenberg, Cambridge, MIT Press, 2003, p. 185-225 ; P. Edwards et al., « Introduction : An Agenda for Infrastructure Studies », *Journal of the Association for Information Systems* 10.5 (2009), p. 364-374 ; S. Graham, *Disrupted Cities : When Infrastructure Fails*, New York, NY, Routledge, 2010 ; T. Bennett et P. Joyce, éd., *Material Powers : Cultural Studies, History and the Material Turn*, London, Routledge, 2010 ; P. Harvey et H. Knox, « The Enchantments of Infrastructure », *Mobilities* 7.4 (2012), p. 521-536 ; A. Carse, « Nature as infrastructure : Making and managing the Panama Canal watershed », *Social Studies of Science* 42.4 (2012), p. 539-563 ; B. Larkin, « The Politics and Poetics of Infrastructure », *Annual Review of Anthropology* 42.1 (2013), p. 327-343 ; P. Harvey et H. Knox, *Roads : an anthropology of infrastructure and expertise*, Ithaca ; London, Cornell University Press, 2015 ; A. Carse et D. Kneas, « Unbuilt and Unfinished », *Environment and Society* 10.1 (2019), p. 9-28.

126. J. Bennett, *Vibrant matter : a political ecology of things*, Durham, Duke University Press, 2010.

127. Une littérature grandissante se penche sur la vie sociale des objets : A. Appadurai, *The social life of things : commodities in cultural perspective*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013 ; A. L. Tsing, *Le champignon de la fin du monde : sur la possibilité de vivre dans les ruines du capitalisme*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, La Découverte, 2017.

128. A. Barry, *Material Politics. Disputes along the pipeline*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2013.

129. Dans leur introduction, Penny Harvey et ses coauteurs insistent pour penser les infrastructures comme le lieu où des "forces" économiques et politiques s'imbriquent de "façon compliquée" (*complicated ways*) : P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, éd., *Infrastructures and Social Complexity : A Companion*, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017, p. 1-22.

ou un pipeline¹³⁰ sont tous présentés comme des assemblages¹³¹ étudiés dans leurs réseaux radicalement plats, sans que jamais les rapports sociaux conflictuels présents dans l'organisation de ces dispositifs techniques, ni les conséquences sociales de ces choix n'interviennent¹³². Un réseau électrique est ainsi décrit comme un assemblage d'actants aussi divers que les champs magnétiques, le charbon, les programmes ordinateurs, la chaleur, les modes de vie, le nucléaire, le plastique, l'eau, la législation, la théorie économique et bien d'autres choses¹³³. Les infrastructures urbaines sont présentées comme des "assemblages complexes", toujours instables, qui réunissent tous les types d'humains, de non-humains et d'agents naturels dans une multitude de liaisons continues à travers l'espace géographique. A la limite, cette anthropologie des infrastructures, présente aussi en Histoire Environnementale¹³⁴, s'auto-exclut du champ des sciences sociales historiques : si le monde n'est qu'un ensemble d'infrastructures¹³⁵, que tout est trop complexe, hétérogène, indéterminé, alors jamais on ne peut espérer donner un sens à des régularités. Est-il, pourtant, possible de proposer une quelconque analyse de l'historicité du réseau autoroutier, des zones industrielles de Fos et Dunkerque ou encore du programme nucléaire, comme un complexe enchevêtrement d'hybrides coupé des structures sociales ? Si les infrastructures sont si instables et contingentes, pourquoi sont-elles produites et maintenues, de façon souvent violente ?

130. Tout en soutenant l'argument de l'*agency* du non-humain, Barry reconnaît que le pipeline qu'il étudie est pris en charge, évalué, régulé par des institutions bien humaines : Barry, *Material Politics. Disputes along the pipeline*, *op. cit.*, p. 183.

131. Cette notion est omniprésente dans les grandes références du sous-champ : "an assemblage is, first, an ad hoc grouping, a collectivity whose origins are historical and circumstantial, though its contingent status says nothing about its efficacy, which can be quite strong. (...) second, a living, throbbing grouping whose coherence coexists with energies and countercultures that exceed and confound it. (...) third, a web with an uneven topography : some of the points at which the trajectories of actants cross each other are more heavily trafficked than others, and thus power is not equally distributed across the assemblage. (...) fourth, not governed by a central power : no one member has sufficient competence to fully determine the consequences of the activities of the assemblage. (...) finally, is made up of many types of actants : humans and nonhumans ; animals, vegetables, and minerals ; nature, culture, and technology." J. Bennett, « The Agency of Assemblages and the North American Blackout », *Public Culture* 17.3 (2005), p. 445.

132. Voir : L. Winner, « Upon Opening the Black Box and Finding It Empty : Social Constructivism and the Philosophy of Technology », *Science, Technology, & Human Values* 18.3 (1993), p. 362-378 ; D. Cérézuelle, « Une nouvelle théodicée ? Remarques sur la sociologie des techniques de Bruno Latour », *Revue du MAUSS* 54.2 (2019), p. 367-393.

133. J. Bennett, « The Force of Things : Steps toward an Ecology of Matter », *Political Theory* 32.3 (2004), p. 347-372.

134. Un article récent présente un accident de chantier comme suit : "The accident reveals one intimate moment in the collision of humans and hydrocarbons, of money and machines, of the entanglements responsible for "geophysical agency" : W. Wright, « Geophysical Agency in the Anthropocene : Engineering a Road and River to Rocky Mountain National Park », *Environmental History* 22.4 (2017), p. 682.

135. Auquel cas, comme le remarque justement Natalia Buier, les infrastructures ne sont même plus sociales. "To assimilate into infrastructure all material conditions of possibility for life is a move that erases the rise of infrastructure as a historically specific form of human-led intervention into the built environment. Paradoxically, although this move has been largely built on the stated need to avoid the pitfalls of economic determinism and structuralist and Marxist orthodoxy, it looks as it is ready to repeat one of the latter's notorious errors : the representation of social life in terms of a rigid and hierarchical architectural metaphor." N. Buier, « The anthropology of infrastructure : The boom and the bubble ? », *Focaal — Journal of Global and Historical Anthropology* (2022), p. 9-10.

Nous rejetons cette épistémologie postmoderne¹³⁶, sorte de phénoménologie des objets matériels, qui nourrit la plupart des travaux des auteurs qui se réclament de Latour comme de Ingold. Répéter sempiternellement qu’il faut s’intéresser aux objets et que “tout est dans tout”, hybride, complexe, enchevêtré, est tragiquement banal – après tout, tout le village de Combray, ville et jardins, idées et matières, se retrouve dans une tasse d’infusion. Comme Alf Hornborg, un anthropologue marxiste qui réfute la théorie de la valeur travail, nous reconnaissons l’importance des objets matériels dans l’ordre du monde, mais sans tomber dans le relativisme¹³⁷. Des travaux d’Histoire Environnementale, et en histoire des sciences et techniques, contestent “l’air de radicalisme¹³⁸” de ces analyses, en prouvant que les assemblages humain et non-humain (matière ou technique) ont toujours été saturés de politique – relativisant par là le caractère nouveau, et la raison d’être, des “new materialist” – et que la frontière moderne, créée par les postmodernes, ne s’observe pas dans les pratiques¹³⁹.

Le renouveau porté par ces *studies* sur la matière ou les infrastructures n’est pourtant pas sans intérêt. Trois entrées vont servir notre réflexion. En premier lieu, mais c’est là une évidence pour notre projet d’histoire environnementale, penser l’infrastructure en intégrant le non-humain (les sols, les granulats, le ciment), sans coupure entre matière et social. Second point : l’attention que ces études accordent aux périodes de tension ou de crise d’une infrastructure. Elles ont ainsi clairement mis en évidence le fait que l’infrastructure n’est pas une chose figée et stable (toujours avec une insistance sur l’imprévisible non-humain¹⁴⁰), mais un

136. Un point commun à toutes les approches postmodernes : récuser la prétention des sciences sociales à rendre compte objectivement du monde.

137. D’où il déduit la proposition politique logique : “This means recognizing that responsibility for the organization of society is ultimately our own, but that to transform social relations we must transform the artifacts that compel us to pursue particular kinds of behavior.” Nous reprenons à notre compte sa critique mesurée de Latour : “it is always incorrect to impute purposes or intentionality to abiotic objects. Artifacts may systematically make people inclined to behave in certain ways, but rather than attribute purposes to the artifacts, we must trace their social consequences to the human activity of designing them.” A. Hornborg, *Nature, Society, and Justice in the Anthropocene : Unraveling the Money-Energy-Technology Complex*, Cambridge, Cambridge University Press, 2019, p. 13-14 ; voir aussi A. Hornborg, « Artifacts have consequences, not agency : Toward a critical theory of global environmental history », *European Journal of Social Theory* 20.1 (2017), p. 95-110.

138. Pour une critique des travaux latouriens dans les STS, voir : Y. Gingras, « Un air de radicalisme : Sur quelques tendances récentes en sociologie de la science et de la technologie », *Actes de la recherche en sciences sociales* 108.1 (1995), p. 3-18.

139. On peut s’interroger sur la fabrique de concepts de paille pour aboutir à des résultats le plus souvent évidents. Nous verrons un exemple de ce type dans le chapitre 3 : alors que certains auteurs assurent démontrer qu’au contraire de ce que les “modernes” croyaient, le sol est bien vivant, nous verrons que les ingénieurs des Ponts et Chaussées (modernes par excellence) ont toujours considéré les sols comme des choses mouvantes.

140. Deux exemples : “we analyze instability as a thriving part of infrastructural arrangements. (...) First, we argue that non-human actors generatively participate in infrastructuring processes. In suggesting this we are exploring the role of nonhumans in our world, and particularly how infrastructural relations bring this role to bear. While infrastructures have conventionally been conceived as technical or sociotechnical systems (...). Second, we argue that infrastructures are premised on recursive sets of responses between and within humans and non-humans and on the binding nature of actors’ mode of engaging with one another – their response-ability.” J. Maguire et B. R. Winthereik, « Living with the earth : More-than-human arrangements in seismic landscapes », dans : *Infrastructures and Social Complexity*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017, p. 163 ; “the stability of infrastructure depends on the relation and interference between two different infrastructural assemblages : the infrastructure and the more-than-human infrastructure of the earth in and on which the infrastructure is assembled” A. Barry,

objet fragile qui exige une perpétuelle attention, de l'entretien et de la maintenance. Il en découle, c'est le troisième point, que toute grande infrastructure est épaulée par une "seconde infrastructure" dont le rôle est essentiel pour prévenir ou gérer les ruptures¹⁴¹. Notre enquête, en particulier l'attention que nous apportons aux travaux de terrassement (chapitres 2 et 3), démontre qu'il est en effet indispensable d'élargir la notion d'infrastructure à toute la portion d'espace prise en charge pour sa production et son fonctionnement¹⁴². Les crises (ruptures, instabilités) des infrastructures sont centrales dans notre étude, tout comme le travail de la seconde infrastructure. Si nous prenons au sérieux les "assemblages socio-techniques", nous les insérons dans des structures sociales d'une période. Les ruptures peuvent avoir une composante (voire une origine) non-humaine, mais elles se transforment en crise uniquement parce qu'elles affectent des rapports sociaux, donc des groupes humains.

V Méthodologie

Cette section présente la méthodologie de la thèse : la délimitation, par induction, du système d'étude du métabolisme des infrastructures (V.1) ; l'attention particulière accordée à la seconde infrastructure que constituent les ingénieurs des Ponts et Chaussées (V.2) ; la place accordée à la technique (V.3) ; le choix des intrigues (V.4).

V.1 Métabolisme dans les chantiers

Nous avons, dans un premier temps, étudié la production de ces infrastructures à partir d'un point d'observation privilégié : le chantier. Considérer le chantier comme objet d'analyse historique, tant comme lieu que comme processus de production, avec ses aléas et ses singularités, est assez rare chez les historiens¹⁴³. Ce choix nous a semblé particulièrement opportun pour notre projet d'historicisation du bâti puisque ce lieu est exactement celui de la sphère de la production. Au-delà des traditionnels "facteurs de production" que l'économiste privilégie (capital, travail et terre), ce point de vue donne à voir tout ce qui est concrètement nécessaire pour cette activité : flux de matières, mais aussi institutions, savoirs, techniques, organisations, idéologies, machines, etc. Nous pouvons ainsi nous prémunir du danger de naturalisation du bâti puisque les difficultés, doutes et inquiétudes, de tous types, y compris les oppositions, y sont exprimées (souvent explicitement) par les responsables du chantier.

« Infrastructure and the earth », dans : *Infrastructures and Social Complexity*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Routledge, 2017, p. 188.

141. Particulièrement pour les "infrastructures critiques", comme la santé publique, réseau électrique, certains transports, mais aussi les marchés financiers : C. Humphrey, « Rethinking Infrastructure : Siberian Cities and the Great Freeze of January 2001 », dans : *Wounded Cities*, Routledge, 2003 ; S. Graham et N. Thrift, « Out of Order : Understanding Repair and Maintenance », *Theory, Culture & Society* 24.3 (2007), p. 1-25 ; Graham, *op. cit.* ; Barry, « Infrastructure and the earth », *op. cit.*

142. Graham et Thrift évoquent brièvement l'idée qu'il faut ajouter toute l'infrastructure nécessaire aux voitures elles-mêmes (garages), aux objets le long des routes (téléphone d'urgence), aux véhicules présents pour dégager la voie lors d'accidents, radio trafic, satellites, lampadaires, etc. Graham et Thrift, *op. cit.*

143. Il nous faut citer une autrice, découverte tardivement, qui emprunte une voie similaire : N. Montel, « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement. Le cas du percement de l'isthme de Suez », *Culture Technique* 26 (1992), p. 135-145 ; N. Montel, *Le Chantier du canal de Suez, 1859-1869. Une histoire des pratiques techniques*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 1998.

Les chantiers donnent accès aux nouvelles constructions, mais aussi aux travaux réalisés sur le bâti existant (ceci est, bien sûr, particulièrement vrai en ville). Nous apportons ainsi une innovation méthodologique à l'ES (et territoriale), en ne considérant pas un système figé à l'avance, comme un département ou une ville¹⁴⁴, mais l'ensemble des grandes infrastructures. Au contraire de la majorité des travaux, qui fixent un système avant le travail empirique, c'est ici l'enquête qui (co)définit les contours du système. Celui-ci est constitué de tous les stocks anciens (maintenus ou agrandis) et de tous ceux en construction. A la suite du travail d'archives et des enseignements des *infrastructures studies* et des chapitres 2 et 3, mais aussi par souci de clarté, les travaux de terrassement sont séparés des stocks (figure 3). Comme ce système est nouveau, et que nous avons fait le choix d'une longue période, nous avons réalisé un immense travail de quantification historique et de construction de données (loin de l'exercice de modélisation à partir d'hypothèses théoriques). Celui-ci n'a pas eu pour objectif de fixer exactement les quantités, mais d'exhiber les matières en présence, de fournir des ordres de grandeur, des tendances et des points de comparaison – pour alléger la présentation, les détails figurent en annexe B. Cet exercice a été utile pour saisir l'importance de certaines matières pour l'État ou les industriels¹⁴⁵, les fondements de certaines conventions statistiques¹⁴⁶, et certains paradoxes. Aussi, comprendre l'inscription matérielle d'une grande infrastructure, étudier la dynamique de son métabolisme, permet-il de mettre en lumière de nouveaux flux : les terres déplacées sont présentes sur tous les chantiers depuis que la production d'espace de grande ampleur existe, le granulat n'apparaît qu'à la fin du XIXe, le ciment perce seulement dans les années 1930 (et plus certainement dans les années 1960), certains déchets remontent aux années 1860, d'autres surgissent dans les années 1970, et quelques matières disparaissent (y compris des déchets comme le phosphogypse, schistes ou cendres volantes). Examiner ce métabolisme, c'est se donner un moyen de comprendre le rôle de l'entretien et de la maintenance. Ainsi, les chiffres de la production d'un kilomètre d'autoroute – 130 t de bitume, 100 000 m³ de terre et 30 000 t de granulat – ne correspondent qu'à sa construction première et ne tiennent pas compte de la remise en état régulière des couches de roulement ni de ses possibles extensions futures. Les flux qui accompagnent le "cycle de vie" d'une autoroute sont donc nettement supérieurs – et indéfinis. Ce panorama quantitatif procure quelques indications sur l'importance des phénomènes, mais ne fournit pas de clé de compréhension. Coupé de facteurs sociaux, donc historiques, il peut conduire à un récit enchanté, ou désenchanté, qui ne serait pas d'une grande utilité pour rendre intelligible la production d'espace. L'atout de notre point de vue s'illustre ici aussi : sur le chantier, ces matières ne sont jamais isolées, mais toujours attachées à des pratiques (terrassement, stabilisation, entretien, valorisation, etc.), des outils et techniques, des instruments ou machines, à un groupe d'agents et à certains débats. La variété et les masses des flux ont conduit à de nouvelles questions tant sur leur origine et leur genèse que sur leur absence dans les études

144. Du fait de la forte dépendance à la disponibilité des données, les systèmes considérés sont très majoritairement administratifs (États, régions, départements, villes).

145. Alors qu'il existe des statistiques extrêmement précises sur le charbon, le minerai de fer ou les céréales depuis la fin du XVIIIe siècle, les statistiques pour les matériaux de construction n'existent pas au niveau national avant 1887 - et ne deviennent précises qu'au tournant du XXe siècle. La présence de bonnes statistiques pour le laitier de haut-fourneau suggère l'intérêt pour ce déchet.

146. La disparition progressive des liens entre espaces extractifs et bâtis se lit dans l'évolution des statistiques des carrières – tant dans leurs dénominations que dans les unités.

d'ES. La présence de déchets très divers et présents en grosses quantités nous a incité à étudier les interactions dialectiques entre la sphère de la production et les espaces-déchets. Le cas des terrassements illustre sans doute le mieux le gain de cette méthode : ce n'est que dans celle-ci que peuvent se percevoir les milliards de mètres cubes de terre déplacés, ces mouvements indispensables à l'émergence du bâti et pourtant absents de l'ES comme des statistiques nationales. Les faits stylisés construits interrogent : postulant qu'il y a là quelque chose qui ne va pas de soi, nous nous demandons comment il a été possible de déplacer des milliards de mètres cubes de terre et de granulat, et valoriser des centaines de millions de tonnes de déchets depuis 1945 (sans que cela n'intéresse ni les historiens ni les économistes) ?

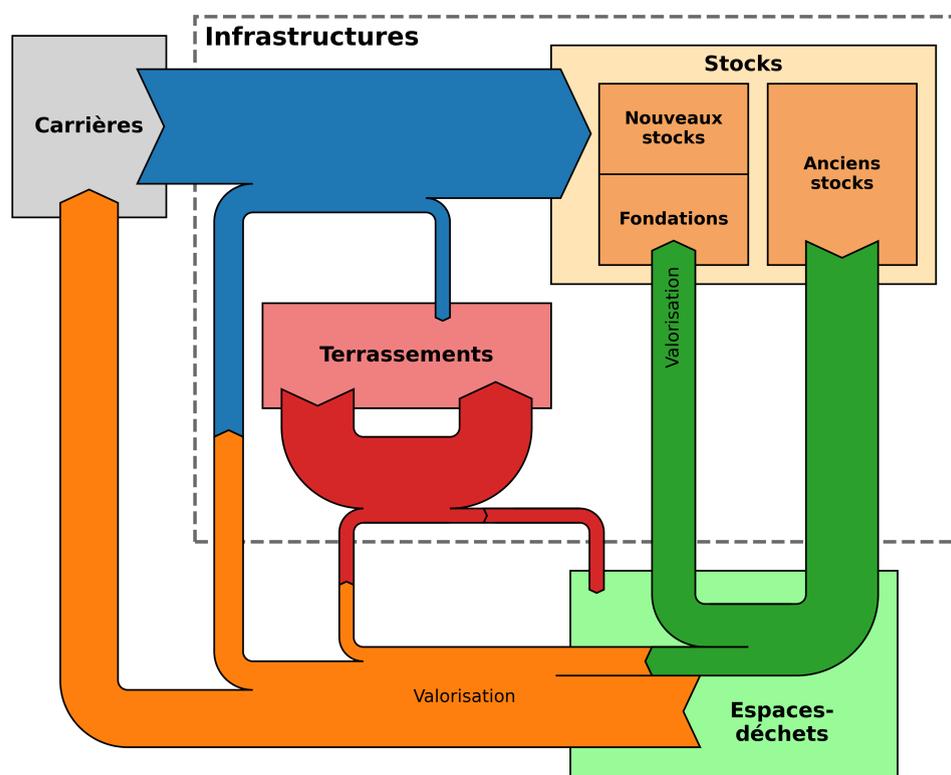


FIGURE 3 – Le métabolisme des infrastructures tel que nous l'envisageons – sans “système économique” séparé de “l’environnement”. Cette figure a été réalisée avec l’aide de Mathieu Maguet.

Le métabolisme examiné ici n'intègre que les flux de minerais non-métalliques. Il écarte, par construction, les flux d'énergie qui rendent toutes les opérations possibles, à commencer par le transport de ces matières. Rappelons que ce métabolisme s'inscrit dans la pétrolisation rapide de l'économie lors de la Grande Accélération – facteur négligé par les premiers régulationnistes¹⁴⁷. Avec l'extension des raffineries construites par les fonds du Plan Marshall, la capacité totale de raffinage en France passe de 7,2 Mt en 1947 à 40,2 Mt en 1960 et atteint 170

147. M. Huber, « Fueling Capitalism : Oil, the Regulation Approach, and the Ecology of Capital », *Economic Geography* 89.2 (2013), p. 171-194 ; Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

Mt en 1975¹⁴⁸. C'est en partie grâce au pétrole algérien¹⁴⁹, importé bon marché, qu'une nouvelle politique (auto)routière est permise dans les années 1960. Les dynamiques de production d'espace et de pétrolisation se renforcent. La production d'infrastructures, par exemple celles qui soutiennent directement des pratiques fossiles comme le transport routier, demande des quantités considérables de produits pétroliers (environ un litre de fioul par mètre cube de terre déplacée). La production d'espaces logistiques (oléoducs, raffineries, ports pétroliers) est un préalable au développement de la pétrolisation, et une de ses conséquences.

V.2 Seconde infrastructure – Ponts et Chaussées

Si les chantiers nous fournissent un matériau empirique riche, indispensable pour l'étude du métabolisme, l'intelligibilité de la production d'espace ne peut se comprendre par leur simple examen au ras du sol. L'historicité de cette activité doit être prise en compte : le chantier n'est pas un lieu de rencontres aléatoires d'hybrides sans histoire. Parmi les agents omniprésents sur toute la période, et sur tous les chantiers, il est un groupe qui joue un rôle très particulier, et qui fournit une part importante, mais loin d'être exclusive, de la littérature et des archives mobilisées ici : les ingénieurs des Ponts et Chaussées. Leur contribution à l'AT, ou le passage du génie civil à l'AT¹⁵⁰, qui prolonge d'une certaine façon celle du Génie Militaire¹⁵¹, a déjà été abondamment et minutieusement étudiée. L'aménagement est dès l'origine, à travers la maîtrise et l'utilisation de la carte et du plan, la marque de fabrique de l'ingénieur des Ponts et Chaussées¹⁵². L'administration des Ponts et Chaussées fait figure d'architecte en chef¹⁵³ d'un territoire conçu en termes de flux, de réseaux et de nœuds, un territoire de la mobilité et des échanges auquel concourent les différents aménagements dont elle se voit chargée (avec des finalités variables au cours du temps : servir la propriété foncière, les intérêts financiers au travers des chemins de fer, etc.). Comme d'autres Corps (mines,

148. Selon les annuaires statistiques de l'INSEE, la production de bitume passe de moins de 400 kt en 1947 à 3,5 Mt en 1975. Elle varie entre 2 et 3,5 Mt depuis 1967. La consommation de goudron, matériau cancérigène, augmente de 300 kt en 1948 à 725 kt en 1958 avant de baisser définitivement jusqu'à son interdiction.

149. Jusqu'à la nationalisation du pétrole algérien en 1971, ce pays est de loin le premier fournisseur de la France dans les années 1960 : les importations bondissent de 6,5 Mt à 27 Mt entre 1960 et 1970. Cette ancienne colonie participe à la Grande Accélération du secteur pétrolier, donc au Fordisme.

150. F. Fichet-Poitrey, J. Bureau et M. Kaufmann, *Le corps des ponts et chaussées du génie civil à l'aménagement du territoire*, Rapport de recherche 0159/82, Comité de la recherche et du développement en architecture (CORDA), 1982.

151. D'après Guillerme, l'École du Génie est la première formation à l'aménagement du territoire créée en France : Guillerme, *Bâtir la ville, op. cit.* ; sur la construction matérielle de l'État français par des grandes infrastructures à partir du XVIIe siècle, voir : C. Mukerji, « The political mobilization of nature in seventeenth-century French formal gardens », *Theory and Society* 23.5 (1994), p. 651-677 ; C. Mukerji, *Impossible engineering : technology and territoriality on the Canal du Midi*, Princeton studies in cultural sociology, Princeton, NJ, Princeton University Press, 2009.

152. Voir : N. Verdier, « Modeler le territoire : les ingénieurs des Ponts et Chaussées (fin 18e - début 19e siècles) », dans : *Les usages des cartes (XVIIe-XIXe siècle), pour une approche pragmatique des productions cartographiques*, Sciences de l'Histoire, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg, 2008, p. 51-66 ; et le magnifique livre d'Eric Alonzo : E. Alonzo, *L'architecture de la voie : histoire et théories*, Champs-sur-Marne ; Marseille, Parenthèses, 2018.

153. Leur importance ne doit pas être surestimée : ils ne sont puissants, malgré des effectifs allant de quelques dizaines à quelques centaines au XIXe, que dans des circonstances données, lorsqu'ils reçoivent le soutien de l'État et de classes sociales spécifiques.

X, Génie militaire, eaux et forêts), celui-ci a été abondamment étudié par les sociologues et historiens¹⁵⁴ : leur formation, leur habitus professionnel, les conflits internes, leurs liens avec les théories économiques (physiocrates, néoclassiques), leur carrière, leur mobilité, leur expertise comme cartographe, leur influence dans les colonies, leur opposition *princeps* aux chemins de fer au milieu du XIXe, etc. Après 1945, ils restent omniprésents tant pour les savoirs et techniques que pour les autoroutes, les aérodromes, les ports¹⁵⁵ ou dans l'urbanisme et les "villes nouvelles".

Nous nous appuierons en particulier sur la fonction technique de "seconde infrastructure" qu'ils accomplissent¹⁵⁶. Pour cette raison, nous attacherons une importance spécifique à leurs laboratoires, dont l'histoire est ancienne¹⁵⁷, ainsi que leurs liens avec d'autres laboratoires (public ou privé, y compris dans les colonies du Maghreb). Après la création en février 1949 du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), 11 laboratoires régionaux, bientôt au nombre de 17, sont créés en mai 1952 (LRPC¹⁵⁸) avec le soutien du Fonds Spécial d'In-

154. A. Debaue, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle*, Paris, Dunod, 1893; J.-C. Thoenig, *L'Ère des technocrates : le cas des Ponts et chaussées*, Sociologie des organisations, Paris, Éditions d'Organisation, 1973; A. Brunot et R. Coquand, *Le corps des Ponts et Chaussées*, Editions du CNRS, 1982; Guillerme, *Corps à corps sur la route*, *op. cit.*; A. Guillerme, « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », dans : *L'aventure des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées*, 28 novembre 2002, p. 3-11; A. Picon, *L'invention de l'ingénieur moderne : l'École des ponts et chaussées, 1747-1851*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1992; C. Vacant, *Du cantonnier à l'ingénieur : les métiers de la route au fil des siècles*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 2001; B. Grall, *Economie de forces et production d'utilités. L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891)*, avec la coll. de F. Vatin, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2003; F. Graber, « Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800 », *Histoire & mesure XXI.2* (2006), p. 29-54; P. Allorant, « Les territoires d'un ingénieur des ponts et chaussées au XIX e siècle », *Revue historique de droit français et étranger (1922-)* 87.1 (2009), p. 59-85; K. Chatzis et G. Ribeill, « L'espace des carrières des ingénieurs de l'équipement dans le public et le privé (1800-2000) », *Revue française d'administration publique* 116.4 (2005), p. 651-670; Vatin, « L'esprit d'ingénieur », *op. cit.*; J. Le Bihan, « La mobilité professionnelle des conducteurs des Ponts et Chaussées au XIXe siècle », *Histoire, économie & société* 33e année.1 (2014), p. 55-71; G. Bertrand, « Quand le voyage sert à inventer un nouvel espace. Le cas des inspecteurs des Ponts et chaussées français en mission en Italie à l'époque napoléonienne (1805-1812) », *Annales historiques de la Révolution française* 385.3 (2016), p. 133-152.

155. Le premier directeur général du (nouveau) Port Autonome de Marseille est un ingénieur des Ponts et Chaussées qui a déjà assuré la direction du port entre 1961 et 1966 : Bartolotti, *op. cit.*

156. "A working infrastructure needs to be monitored for faults and kept in good repair. It is perhaps not surprising that infrastructures such as railways, pipes, satellites, lights, roads and cables often co-exist with a second order of infrastructure of information production that keeps their movement and transformation within working limits. In this way, infrastructures generate the need for monitoring devices, engineering consultants and security guards who keep more or less close watch on their condition" : Barry, « Infrastructure and the earth », *op. cit.*, p. 187.

157. En 1831 est créé le laboratoire de chimie de l'ENPC qui participe à l'instruction des élèves aux analyses de pierre à chaux. Fin XIXe siècle c'est pratiquement le seul laboratoire au monde à effectuer des tests sur les matériaux utilisés pour la construction et entretien des routes (les ingénieurs étatsuniens viennent alors se former en France).

158. L'imitation du système étatsunien est explicite, dès 1946. Accorder d'énormes moyens financiers pour établir un Laboratoire Central (qui occupe aux États-Unis plusieurs centaines de personnes dont 150 ingénieurs) qui devra être complété par la création de laboratoires annexes régionaux (et de laboratoires de chantiers) sur le modèle des laboratoires de chaque État : D. Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970 : Une Construction Technique, Administrative et Sociale Originale au Sein de l'Administration des Travaux Publics*, 2003.

vestissements Routiers¹⁵⁹. Leurs laboratoires vont se développer de façon exponentielle avec le lancement du programme autoroutier dans les années 1960, dont ils constituent le socle technique avec le SETRA¹⁶⁰ (figure 4). Au-delà de l’aspect quantitatif, la forte hausse des budgets et effectifs¹⁶¹, il y a la variété du champ d’action¹⁶² : études de sols ; géotechniques ; terrassements ; inventaires exhaustifs des gisements de granulat ; économie des transports ; essais ; contrôle des travaux ; etc. Cette diversification est soutenue par d’importants investissements en matériels lourds : un Centre d’Expérimentations Routières, une Station d’Essai d’Éléments de Matériel Routier, deux Centres d’Études et de Construction de Prototypes, deux Centres Coordonnateurs de Matériels. Les ingénieurs produisent et diffusent des savoirs et techniques *via* une nouvelle revue, créée en 1963, le *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées*. Ceci montre que le “complexe assemblage” qui permet la production d’espace n’est pas si obscur et fortuit que ce que prétendent les *infrastructure studies* : c’est en grande partie parce que l’État investit dans cette seconde infrastructure que le Corps vit son “âge d’or” jusqu’à la fin des années 1970¹⁶³, qu’un certain nombre de difficultés non-humaines peuvent être prises en charge (chap. 3) et de nouvelles techniques de valorisation mises au point (chap. 5).

Ensemble des Laboratoires Régionaux	effectifs			budgets	
	montant	accroissement annuel (valeur absolue)	accroissement annuel (%)	montant	accroissement
1962	384			12500000	
1963	609	225	59%		
1964	868	259	43%		
1965	1117	249	29%		
1966	1373	256	23%		
1967	1591	218	16%		
1968	1850	259	16%	58355000	367%
1969	1922	72	4%		
de 1962 à 1969		1538	401%		

FIGURE 4 – De 1963 à 1968, le budget des LRPC s’accroît de 370 % et 240 emplois nouveaux sont créés en moyenne chaque année¹⁶⁵.

159. Ce fonds, créé en décembre 1951 et alimenté par une nouvelle taxe intérieure sur les produits pétroliers, est constamment décrié par les ingénieurs pour son faible impact sur la modernisation du réseau. Il s’agit pourtant d’une forte hausse des crédits routiers et d’un pilier financier des LRPC : *idem*, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.* ; G. Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, t. 2, Paris, Presses de l’École nationale des ponts et chaussées, 2007.

160. Service technique dédié aux autoroutes créé en 1968, en même temps que l’intégration des 17 LRPC aux CETE (centre d’étude technique de l’équipement) – qui ont pour but de faire face “aux besoins considérables qui vont se manifester dans les prochaines années notamment dans les secteurs des études économiques et des études d’urbanisme”.

161. L’effectif parisien fait plus que doubler entre 1956 et 1964 (de 163 personnes à 400 personnes).

162. Les ingénieurs des Ponts sont, selon les périodes, dessinateurs, topographes, statisticiens, géologues, etc. Ce qui change dans les années 1950-1980, c’est le contenu de leurs enseignements et savoirs.

163. Guillaume, « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », *op. cit.* ; Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.* ; Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.*

165. Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.*, p. 59.

Les revues permettent de retracer les transferts de savoirs et techniques entre pays (par exemple lors de colloques internationaux ou visites d'étude), mais aussi entre infrastructures (des aéroports aux autoroutes par exemple), ainsi que les collaborations entre institutions publiques ou privées. L'accroissement des moyens et des effectifs des laboratoires va de pair avec de nouveaux savoirs et objets de recherches : ciment, stabilisation des sols, terrassements, géotechniques, déchets divers (laitier, cendres volantes, phosphogypse). Par la question technique, les Ponts et Chaussées jouent également un rôle dans l'alignement des intérêts de différents secteurs : leur démonstration de la faisabilité des valorisations des déchets dans les routes, va rapprocher les secteurs industriels et de la construction (chap. 5). Au-delà des aspects cognitifs et techniques et de la grande diversité de leur intervention (puisqu'ils deviennent spécialistes de déchets autant que de granulats ou de chimie), c'est leur cadrage idéologique, développementiste voire croissant, des différentes questions (sur les politiques routières comme sur les carrières) qui nous intéresse. Celui-ci permet d'expliquer pourquoi certaines options sont systématiquement écartées et pourquoi les solutions techniques qu'ils prônent pour certains problèmes restent vaines. Nous la mobilisons de façon parcimonieuse pour expliquer pourquoi une certaine vision domine – et pourquoi elle est problématique. Leurs opinions ne sont pas figées pour autant. Un exemple révélateur est le cas des autoroutes, dont la construction ne fait pas consensus jusque dans les années 1950 : c'est en partie parce qu'un sous-groupe de jeunes ingénieurs comprend que le programme autoroutier pourra renforcer leur présence dans les administrations que la balance penche finalement en sa faveur¹⁶⁶. Dans une voie orthogonale, ou intermédiaire, à deux approches, le structuralisme le plus dur qui jamais ne s'intéresse à une trajectoire spécifique, ou la mise en récit biographique la plus plate¹⁶⁷, qui réduit l'histoire à une agrégation de vies, nous accordons une importance à quelques ingénieurs pour ce qu'ils disent des structures et pour leur rôle dans certaines transformations¹⁶⁸.

V.3 Place accordée à la technique

Du fait de notre voie d'accès à l'infrastructure, par le chantier, et de la forte présence des Ponts et Chaussées, l'aspect technique et cognitif transparaît dans la plupart des objets examinés ici. Notre enquête le prend très au sérieux : à l'opposé de tout déterminisme et de

166. Le ministère des travaux publics, sur lequel domine le Corps des ingénieurs des Ponts et Chaussées, échappe à la centralisation jusqu'au début des années 1960. L'administration des Ponts et Chaussées se fait le porte-parole des intérêts de la France rurale et reproche alors à l'infrastructure autoroutière son coût de construction élevé pour un gain de trafic faible. Le DR s'oppose en 1952 à doubler les itinéraires les plus importants par des autoroutes de liaison – un "suréquipement ruineux" (*RGRA*, avr. 1981). L'autoroute est souvent perçue comme antidémocratique, car elle rompt l'égalité des citoyens devant les infrastructures et favorise l'automobile, moyen de transport de luxe : Thoenig, *op. cit.* ; G. Zembri-Mary, « Maillage autoroutier et territoire. Permanences et mutations du modèle de développement du réseau autoroutier français », Thèse de doctorat en transport, École Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.

167. Cet exercice est fréquent chez les ingénieurs issus de cette École qui en font l'histoire au travers de listes de "grands ingénieurs" : Debaue, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle*, *op. cit.* ; Brunot et Coquand, *op. cit.*

168. Citons ici : Vicat et Le Châtelier (ciment), Bonnenfant et Peltier (mécanique des sols), Reverdy (ingénieur sur les chantiers autoroutiers et historien des routes). D'autres trajectoires sont étudiées (Taylor, Cochery, Gallienne) pour ce qu'elles révèlent de l'état des champs de pouvoir (étatique, économique, scientifique).

tout fonctionnalisme, technophile ou technophobe, nous avons toujours cherché à déplier ses dynamiques internes (au champ scientifique) et externes (dans son rapport avec les autres champs). Elle permet d'abord d'établir des éléments factuels sur les savoirs à des époques données. On peut affirmer avec certitude que des déchets sidérurgiques sont valorisés dans les cimenteries depuis la fin du XIXe (chap. 5), que les dégâts de l'extraction dans les rivières sont connus et documentés (chap. 1), que les ingénieurs savent certains sols incapables de supporter des infrastructures (chap. 3) et que l'impact d'un poids lourd sur une chaussée est une fonction exponentielle par rapport à la masse (chap. 4). Ensuite, l'évolution des techniques de construction et d'entretien est riche de renseignements : elle fournit une explication à la façon dont les espaces coaménagés sont associés (et met en relief la rupture que représente l'hégémonie du concassage dans l'histoire des carrières) ; elle permet de rendre compte des quantités de matière extraites et déplacées (pour une autoroute, par exemple). De même, les techniques de valorisation expliquent l'origine des déchets, l'ampleur des quantités, et leur nécessaire production dans certains processus productifs (chap. 5).

Les problèmes techniques, comme les instruments¹⁶⁹, que se donnent les ingénieurs, souvent rattachés à des inquiétudes concrètes (stabilité d'un sol, valorisation d'un déchet), rappellent tous la prédominance, en dernière instance, des choix socio-politiques¹⁷⁰. Certains savoirs ne contribuent à transformer le monde que par leur alliance avec des pouvoirs (politiques et économiques) déjà institués. Cet écart conduit à des situations schizophréniques pour eux, qui, parce qu'ils écartent les facteurs sociaux de leur cadre, sont contraints à une fuite en avant technique permanente. L'aspect technique, redevable de choix politiques, nous renseigne ainsi sur ce qui est le plus déterminant du point de vue quantitatif pour le métabolisme : pour la France, le commerce international et l'automobile. Cette thèse pourrait être lue comme une nouvelle histoire de la vitesse ou de la taille et du poids des engins de transport, avec comme argument principal que le développement permanent des techniques, et la production d'espaces, viennent répondre à ces défis. La prise en compte des structures nous protège de ce déterminisme technique. La production d'autoroutes et de grands ports en vue de la circulation de camions toujours plus lourds et de navires toujours plus profonds, en plus d'être une question technique, est la réponse nécessaire à l'évolution du Fordisme, tant à la consommation de masse de voitures qu'à l'internationalisation de l'économie qui prépare la globalisation néolibérale (chap. 4).

La part technique doit être considérée avec précaution – en particulier dans les causalités mises en évidence. La part croissante des machines dans la production d'espace n'est pas un processus inéluctable et pacifique de substitution du travail par du capital. Nous montrons comment un ensemble de transformations a permis des cadences extraordinaires de production d'espace. Sans céder aux simplifications, nous restituons ce processus difficile, très long, qui a des effets majeurs sur les rapports sociaux sur les chantiers comme sur les reliefs (chap. 2). Une technique routière qui joue un rôle central dans cette thèse, la stabilisation des sols, illustre les tensions entre dynamiques interne et externe. Si *a posteriori*, nous pouvons la présenter comme un dispositif chimique qui abstrait les sols et sépare infrastructure

169. Nous montrons que la façon dont les routes sont auscultées et évaluées, est strictement rattachée à des motivations économiques – ce qui contribue à placer leur sempiternelle réparation dans la sphère post-politique.

170. Par exemple : une délocalisation ou la requalification d'un espace-déchet est bien plus déterminante que les améliorations des débouchés, qui sont réelles, des mutations du système productif.

et superstructure, nous montrons qu'il s'agit d'abord d'une innovation étatsunienne, qui se développe en métropole avec les chantiers autoroutiers après avoir servi les aéroports des colonies. Conçue pour un pays où les techniques de construction de métropole ne pouvaient être transposées, appréciée pour la portance accrue qu'elle confère aux sols, elle va totalement bouleverser la technique routière et les filières de valorisation, et contribuer à l'industrialisation des chantiers (chap. 3). La thèse invite ainsi à prendre au sérieux la technicité des faits matériels, sans reculer devant une montée en généralité.

V.4 Choix des intrigues

L'enquête a fait émerger des problématiques nouvelles et des réponses à d'autres questions que celles formulées initialement. Nous avons dû faire des choix. Écarter des phénomènes importants, faute de sources et de temps, et surtout découper le réel d'une façon qui nous semblait pertinente pour en saisir des processus déterminants : construire des intrigues¹⁷¹. Comme Jean-Baptiste Fressoz l'explique dans sa thèse, l'intrigue historique satisfaisante est celle qui intègre "un petit objet biscornu", plutôt qu'un objet préconstruit déjà naturalisé, qui l'aide à interroger des catégories pour les rendre intelligible¹⁷². Les intrigues ont le statut de problématiques intermédiaires, au sens où elles servent toujours à ré-interroger ce qui paraît aller de soi, pris dans un certain récit et un certain cadre d'analyse, en le rendant étonnant. Aucune ne prétend fournir toute l'intelligibilité de la production d'espace, projet vain rappelons-le, mais toutes prétendent contribuer à en comprendre des aspects généraux. La thèse casse volontairement le récit chronologique des récits de l'AT, celle d'une production linéaire d'espace, et choisit de retracer quelques transformations fondamentales dans une dynamique longue. Loin d'une biographie des infrastructures, nous parcourons plusieurs fois la même carte, par des chemins différents qui ont leur propre temporalité. Derrière l'arbitraire apparent des intrigues proposées, se trouve une démarche rigoureuse tant empiriquement que conceptuellement. Par l'étude de dynamiques métaboliques, chaque chapitre entend simultanément éclairer la production d'espace, prendre position dans un débat historiographique, tout en développant le concept de pratique spatiale.

D'abord, chaque chapitre se rattache à des flux de matières déterminants dans la sphère de la production – granulats (chap. 1), terre (chap. 2), ciment (chap. 3), laitier (chap. 4), déchets industriels et de démolition (chap. 5) – qui, par construction, ne sont jamais séparés de pratiques sociales ni réduits à des quantités. Chacun offre un point de vue sur la production d'espace à partir d'un autre lieu, dont certains sont visibles sur la figure 3 : les carrières, les chantiers, les sols, les laboratoires, les routes nationales et les espaces-déchets. Un procédé régulièrement utilisé ici est l'heuristique de la crise, illustré par la *bétonite*, commune à la TR¹⁷³ et aux *infrastructure studies*¹⁷⁴ : il s'agit de penser les ordres institutionnels, qui

171. Nous suivons ici la démarche préconisée par Paul Veyne selon qui l'écriture d'une intrigue cohérente est constitutive de l'analyse historique car elle implique un cadre, un moment, des objets et des acteurs, une manière de les relier, de faire saillir certaines relations en effaçant d'autres. Veyne, *op. cit.*

172. J.-B. Fressoz, « « La fin du monde par la science ». Innovations, risques, régulations, de l'inoculation à la machine à vapeur. », Thèse de doctorat en histoire, École des Hautes Études en Sciences Sociales et Institut Universitaire Européen, 2009, p. 25.

173. Les travaux sur les crises monétaire ou financière d'André Orléan fournissent d'excellents exemples : A. Orléan, *Le Pouvoir de la finance*, Paris, Odile Jacob, 1999 ; *idem*, *L'empire de la valeur*, *op. cit.*

174. Surtout utilisé pour les réseaux d'énergie (gaz, pétrole, électricité).

ne sont jamais que temporairement stabilisés, par leurs crises. Comme l'explique Graham : "When such infrastructures work they are often ignored or taken for granted, at least by those lucky enough to have good and continuous access. Paradoxically, however, when they collapse or are disabled they are at their most visible¹⁷⁵". A la différence des régulationnistes, les crises ont ici toujours un sens idéal et matériel. A la différence du présupposé des *studies*, à savoir que la crise vient révéler l'*agency* du non-humain, nous l'utilisons pour mettre en évidence tout le travail institutionnel (technique, matériel et idéologique) indispensable à la reproduction de l'infrastructure. Ceci suggère d'emblée que l'histoire triomphante de l'AT est trompeuse et masque un travail intense et permanent de gestion des tensions, inquiétudes, conflits et crises – qu'il faudra préciser. Les crises révèlent en effet par quels facteurs (représentations collectives, régularités économiques, réseaux techniques) un certain ordre était reproduit, mais aussi pourquoi, comment et dans quelle direction l'ordre change. Les points de départ sont : rupture d'un pont sur la Loire (chap. 1) ; inquiétudes sur le transport de terre (chap. 2) ; instabilités de terrains lors de la production d'espace (chap. 3) ; destruction de routes nationales lors d'un hiver (chap. 4) ; inquiétudes sur les grandes masses de déchets (chap. 5). L'intensité de ces crises de la production d'espace est variable¹⁷⁶ : crise de la production d'espace (chap. 1) ; crises mineures, internes à la sphère de la production, absorbées par le fonctionnement des institutions dédiées (chap. 2 et chap. 3), crise de tout un réseau (chap. 4), crise de la production des déchets (chap. 5). Construire l'intrigue autour de ces crises, comme d'autres le font en sociologie autour de controverses, est un procédé classique en sciences sociales qui se révèle très utile à condition de situer l'événement dans une histoire longue qui l'explique – et lui retire son caractère d'événement. Aussi toutes ces crises figurent-elles en début de chapitre, plongeant le lecteur dans un moment de la production d'espace du Fordisme qui est ensuite déplié pour rendre compte de ce qu'y s'y joue.

V.5 Commentaires sur les sources

Le corpus de sources est intégralement constitué de documentation imprimée, disponible majoritairement à la Bibliothèque Nationale de France¹⁷⁷. Outre les analyses de flux de matières et la littérature contemporaine en sciences sociales historiques, outre les thèses, y compris en sciences dures (nombreuses sur le ciment, les granulats alternatifs, les déchets), nous avons examiné les publications savantes et d'experts (génie civil, géologie, géomorphologie, mécanique des sols), les revues, souvent mensuelles, de différents patronats (granulat, ciment, travaux publics, routes), et différentes littératures grises (Plans et leurs commissions, rapports des ministères¹⁷⁸, ou de grandes institutions). Les littératures consacrées aux différents objets (routes, terrassements, carrières, déchets) seront davantage discutées dans les chapitres. Notons ici qu'elles sont très inégales dans leur importance (quasi-nulle pour les travaux de terrassement, très riche sur les déchets et la valorisation) et que nous avons considéré d'importantes recherches anglophones, assez méconnues en France. Le point de vue sur

175. Graham, *op. cit.*, p. i.

176. Un parallèle peut être établi avec la typologie des crises selon la TR : perturbation externe, crise endogène, du mode de régulation, du régime d'accumulation, du mode de production.

177. Une petite partie provient des Archives Nationales (voir annexe A).

178. Le Ministère de l'Équipement et la Direction des Routes et de la Circulation Routière publient un rapport annuel, intitulé *La route en*, qui compile un nombre important de données sur le réseau routier.

le monde de ces acteurs dominants - schématiquement ingénieurs, administrations et patrons - doit bien sûr être considéré avec beaucoup de précaution, d'autant plus que leurs visions convergent et peuvent donner l'idée que la vérité propre à leurs champs est universelle (ce qui est dans leur intérêt). Elle fournit une vision très spécifique de la production d'espace : l'espace local est souvent désocialisé, le besoin de travaux est naturalisé, les grandes infrastructures sont toujours jugées légitimes¹⁷⁹.



FIGURE 5 – Exigence de la Fédération Nationale des Travaux Publics (1983) dans sa revue *Travaux*.

La littérature technique est particulièrement appropriée, d'autant plus qu'elle est ancienne¹⁸⁰, pour renseigner les procédés à l'œuvre dans le bâti et son métabolisme. Deux registres co-existent : des savoirs formalisés dans les manuels et cours, et des savoirs tacites (les pratiques techniques) présents dans les descriptions des chantiers. L'accès aux chantiers a été rendu possible par des revues de travaux publics, souvent anciennes, qui en fournissent d'innombrables et riches descriptions¹⁸¹. En premier lieu, ces archives permettent d'interroger les matières utilisées dans la sphère de la production des grandes infrastructures - tant leur origine que leur quantité ou leur usage. Elles documentent la prise en charge de ces matières par les agents (ingénieurs, administrations, entreprises), les difficultés auxquels ils font face et leur façon d'y répondre. Si notre perspective matérialiste semble placer les idéologies à

179. Dans le chapitre 4 de sa thèse, Durey discute de l'assignation symbolique d'un lieu à une "vocation". Il dissèque les ressorts à l'œuvre derrière toute prétention à incarner l'intérêt général, et révèle la stratégie de manipulation symbolique implicitement contenue derrière les discours sur l'aménagement du Rhône. L. Durey, « Le rôle des imaginaires dans la production d'un espace, une sociohistoire de deux siècles d'aménagement du Rhône », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Jean Monnet, 2019.

180. N. Montel, *Écrire et publier des savoirs au XIXe siècle. Une revue en construction : les Annales des ponts et chaussées (1831-1866)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2015 ; L. Rojas, « Construire et diffuser le savoir des ingénieurs civils des mines : le Bulletin de la Société de l'industrie minérale (1855-1914) », *Philosophia Scientiae* 22.1 (2018), p. 185-201.

181. Les principales : *Le Génie Civil*, *Annales PC*, *La Houille Blanche*, *RGRA*, *Travaux*, *PCM*, *Bull. liaison*, *Chantiers de France*, *Terrassements & carrières*.

l'arrière-plan, en partie du fait qu'elles ont été abondamment étudiées, nous les considérons avec d'autant plus d'attention qu'elles façonnent les articles auxquels nous avons accès. Pour éviter l'approche ras du sol, restreinte au chantier (ce qui reviendrait à postuler que toute l'intelligibilité de la production d'espace s'y trouve, et que par conséquent il suffit d'interroger le chantier et ses acteurs), nous avons examiné d'autres lieux de la production de l'espace (laboratoires, carrières, espaces-déchets, ministères), et des acteurs qui s'y opposent. Nous utilisons des publications syndicales et diverses sources secondaires sur l'histoire du mouvement ouvrier pour comprendre la présence et le rôle des terrassiers. Nous avons accès aux techniques et aux laboratoires par les revues spécialisées¹⁸². Une ressource importante provient des Ponts et Chaussées : en plus des rapports du LCPC, le *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées* créé en 1963, s'est avéré plus pertinent pour notre période que les *Annales des Ponts et Chaussées*, revue qui disparaît entre 1971 et 1977. Pour comprendre l'évolution des techniques routières et les débats dédiés, nous avons consulté les rapports de la "semaine technique de la route", des "journées régionales de la route" et des "journées techniques de la route" organisées par l'association de technique routière¹⁸³. Les sources sur le ciment¹⁸⁴ et le granulat proviennent du patronat¹⁸⁵, des ingénieurs des Mines¹⁸⁶. Le rôle des déchets et du laitier a été étudié au travers de littératures patronales et scientifiques spécialisées¹⁸⁷. Nous montrons, après d'autres, que les savoirs théoriques ne se développent pas dans le ciel des idées, aussi pur que détaché des matières. L'entretien des routes se rattache au développement de la théorie néoclassique ; les déplacements des terres à l'organisation tayloriste ; l'instabilité des ouvrages à la mécanique des sols et géotechnique¹⁸⁸. Les archives révèlent des circulations de savoirs, de techniques, de technologies et d'acteurs, au travers des conférences, colloques, congrès ou voyages d'études, entre la France et d'autres États qui sont érigés en modèles (principalement États-Unis, Allemagne et Angleterre). Ainsi, si cette thèse est centrée sur la France métropolitaine, la production d'espace n'y est pas étrangère à celle des colonies et d'autres pays qui font face aux mêmes difficultés, inquiétudes et problèmes socio-techniques.

Pour bien saisir ce qui se joue dans la Grande Accélération, et mieux caractériser les dynamiques de chaque période, nous avons longuement examiné des archives¹⁸⁹ de la production d'espace du XIXe siècle¹⁹⁰. L'élargissement de la temporalité, mené avec précautions, nous

182. *Laboratoires du BTP, L'Entreprise française, Annales ITBTP* (qui se décline en plusieurs séries).

183. Celle-ci prend la suite du "Syndicat général de la route" qui organise la "Semaine de la route" en 1931, 1934 et 1936. Les comptes rendus sont publiés dans la *RGRA*.

184. *Le Ciment ; Revue des Matériaux de construction*.

185. *UNICEM, Le Granulat ; Mines et Carrières ; L'Équipement Mécanique ; Routes et carrières*.

186. *Annales de Mines ; BRGM ; CNEXO*, devenu IFREMER en 1984.

187. Outre la *Revue de Métallurgie*, la revue patronale du *Centre Technique de la Promotion du Laitier*, dont le nom change (*Tarmacadam ; Laitiers et Tarmacadam ; Laitiers de hauts fourneaux ; Laitiers sidérurgiques*).

188. Les savants, y compris les économistes, sont mus par la problématisation de situations empiriques et par la recherche de solutions pratiques.

189. Nous avons consulté de nombreux livres, traités, manuels et cours rédigés par et pour les ingénieurs. Voir les détails sur ces ouvrages dans l'annexe A.

190. L'État aménageur promet déjà la construction importante de canaux, chemins de fer et routes. Paru en 1820, le *Rapport au roi sur la navigation intérieure de la France* est considéré comme une référence centrale de l'histoire de l'aménagement du territoire au XIXe siècle. N. Montel, « L'État aménageur dans la France de la Seconde Restauration, au prisme du Rapport au roi sur la navigation intérieure de 1820 », *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 59.1 (2012), p. 34-61.

a permis de saisir et de penser la dépendance au sentier de la pratique spatiale des régimes. Cette méthode comparative, qui met en évidence les continuités et ruptures, dans les façons de produire l'espace, les inquiétudes et les crises connexes, est un instrument utile de construction des généralités sur les pratiques spatiales des régimes.

VI Exigences de la production d'espace

Cette thèse intègre une approche matérielle (ES, Histoire Environnementale) et spatiale (Écologie Territoriale¹⁹¹) dans l'institutionnalisme historique (celui de la TR), en tenant compte du pouvoir symbolique des agents (Bourdieu, approche néo-réaliste). Elle répond, par suite, à une problématique qui est commune à tous ces courants – liste qui pourrait s'élargir à la géographie environnementale, l'économie polanyienne, la *Political Ecology*, etc. Ainsi, ce travail s'inscrit dans, et constitue un argument pour, un cadre unidisciplinaire, celui de la science sociale historique. Cet ancien projet réunit, dans des formulations et des motivations variées, parfois avec des vues impérialistes, parfois par souci de défense d'une discipline (sortir l'histoire de son isolement pour Bloch et Febvre en 1929, sauver la géographie humaine pour Braudel¹⁹² ou l'économie hétérodoxe pour Orléan¹⁹³), un nombre important de courants et auteurs fondamentaux ou paradigmatiques¹⁹⁴.

Dans son ensemble, la thèse contribue à penser la production d'espace capitaliste, plus exactement la pratique spatiale des régimes d'accumulation, par l'examen permanent des relations entre structures sociales et matérielles. Nous montrons qu'elle est synonyme de Capitalocène, tout en étant instable, qu'elle est autant une question d'entretien, de maintenance et d'extension d'espaces produits que de nouvelles constructions, et qu'elle est au cœur du problème de valorisation de déchets. La production d'espace est aussi une histoire de très

191. Comme d'autres études, nous pensons qu'il faut penser l'empreinte spatiale des flux. Voir : J. Bahers, S. Barles et M. Durand, « Urban Metabolism of Intermediate Cities : The Material Flow Analysis, Hinterlands and the Logistics-Hub Function of Rennes and Le Mans (France) », *Journal of Industrial Ecology* 23.3 (2019), p. 686-698 ; J.-B. Bahers et al., « The place of space in urban metabolism research : Towards a spatial turn ? A review and future agenda », *Landscape and Urban Planning* 221 (2022), p. 104376.

192. Braudel promeut une histoire totale ou géohistoire : J. Revel, « Histoire et sciences sociales : les paradigmes des Annales », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 34.6 (1979), p. 1360-1376 ; G. Ribeiro, « La genèse de la géohistoire chez Fernand Braudel : un chapitre de l'histoire de la pensée géographique : » *Annales de géographie* 686.4 (2012), p. 329-346.

193. A. Orléan, « La sociologie économique et la question de l'unité des sciences sociales », *L'Année sociologique* 55.2 (2005), p. 279-305.

194. Weber, Durkheim, la première sociologie économique, l'École des Annales, Foucault, Wallerstein ou le mouvement du MAUSS : J.-J. Gislain et P. Steiner, *La sociologie économique 1890-1920 : Durkheim, Pareto, Schumpeter, Simiand, Veblen et Weber*, Sociologie, Paris, PUF, 1995 ; A. Caillé et al., éd., *Des sciences sociales à LA science sociale Fondements anti-utilitaristes*, Lormont, Le bord de l'eau, 2018 ; la revue *Actes de la recherche en sciences sociales*, que Pierre Bourdieu crée en 1975, illustre son ambition d'unifier les sciences de l'homme sur des bases épistémologiques communes : "il m'est difficile de dire ce que pourraient être les rapports entre des disciplines, histoire, ethnologie, sociologie et même économie, qui, selon moi, sont artificiellement séparées et devraient être unifiées (...) je peux dire qu'un de mes combats les plus constants, avec *Actes de la recherche en sciences sociales* notamment, vise à favoriser l'émergence d'une science sociale unifiée, où l'histoire serait une sociologie historique du passé et la sociologie une histoire sociale du présent." P. Bourdieu, « Sur les rapports entre la sociologie et l'histoire en Allemagne et en France », *Actes de la recherche en sciences sociales* 106.1 (1995), p. 111.

grandes masses de faible valeur, et du problème de leur transport – qui se fait sur des distances modestes mais en forte croissance après 1945. En les rematérialisant, notre travail comble partiellement un vide dans plusieurs littératures sur la seconde moitié du XXe siècle : histoire des terrassements, des carrières, du ciment, de l’entretien des routes, des déchets.

Transversale à ces thèmes, l’histoire de la production de grande infrastructures est une histoire d’exigences sociales. Les exigences de tracés tous terrains, de nouvelles géométries et de sols plus résistants proviennent d’exigences de vitesse, de poids et de circulation de véhicules (automobiles, camions, avions, navires) toujours plus grands et lourds. Les exigences de production industrielle d’espace se traduisent dans la sphère de la production par des exigences de logistique de transport et de plateformes rigides. A un niveau de généralité plus élevé, la pratique spatiale des régimes d’accumulation répond à des exigences d’extension, d’entretien et de maintenance des espaces produits – ainsi qu’à des exigences de prise en charge des espaces extractifs. Ces exigences sont à la fois celles des responsables des chantiers, du patronat et du capital dans son ensemble¹⁹⁵. Le fait qu’elles soient systématiquement satisfaites, malgré les instabilités, les dégâts de l’extractivisme, de l’automobilisme ou de la globalisation, souligne une histoire violente pour les milieux socio-écologiques, mais aussi le pouvoir qu’ont certains acteurs de cadrer une question et de la rendre légitime (notamment en naturalisant les besoins).

Le chapitre 1 s’intéresse aux coulisses des chantiers, les carrières, et met en évidence que la production d’infrastructures est synonyme d’un extractivisme ordinaire qui se maintient depuis 1945, à l’exception de quelques petites périodes creuses¹⁹⁶. Le chapitre invite à penser dialectiquement la production d’espace comme coproduction d’espaces, et à intégrer la question de l’empreinte spatiale du transport des matières. Il s’agit de faire l’histoire de la grande flèche bleue de la figure 3 par les espaces qu’elle relie. Ce cadre théorique permet d’expliquer le processus qui a permis de maintenir des niveaux d’extraction si importants malgré les contestations et dégâts. L’aménagement des espaces extractifs a du être incorporé dans la pratique spatiale du Néolibéralisme : la planification croissante des carrières et leur réaménagement ont été nécessaires à la poursuite de l’extractivisme ordinaire.

Le chapitre 2 étudie la première opération matérielle dans la sphère de la production : les travaux de terrassement. Il s’agit de mettre en évidence et de faire l’histoire de la flèche rouge, qui boucle sur elle-même puisque ce flux reste dans le chantier, dans la figure 3. Les volumes de terre apportent un nouvel éclairage sur la pratique spatiale : après 1945, les géométries des infrastructures changent radicalement, pour répondre à des exigences sociales, et les cadences de production sont bien plus rapides qu’auparavant. Nous montrons que la production de l’espace est un problème de transports, d’emprunts et de dépôts, de terre et comment s’opère, après 1945, une substitution du travail par du capital. Ce chapitre explique ainsi comment la pratique spatiale se mécanise et s’industrialise après la Seconde Guerre mondiale. Les terrassements et les carrières mettent en lumière le besoin croissant de production d’invisibilités, ou de paysages apaisants, dans la pratique spatiale.

Le chapitre 3 examine les instabilités de la production d’espace – et par là, les relations entre sphère de la production et seconde infrastructure. La pratique spatiale doit inclure un

195. Pour la période qui s’achève en 1939, Théret suggère, à partir des dépenses monétaires uniquement, que le Capital a davantage servi de béquille à l’État que l’inverse : Théret, « À propos du rôle de l’État dans la mise en œuvre des infrastructures », *op. cit.*

196. Les creux les plus marqués sont celui de 1982 à 1985, et celui après 2008.

travail de stabilisation des infrastructures, qui s'étend progressivement des reliefs aux sols et fondations. Ces exigences se reflètent dans le développement de géosavoirs et géotechniques dans les laboratoires. Le rôle croissant du ciment dans le métabolisme à partir des années 1950 s'explique par la conjonction d'un besoin de stabilité, d'industrialisation des chantiers et de résistance accrue pour supporter le nouveau bâti. Ce chapitre met en lumière le "bloc" des fondations, nécessaires aux nouveaux stocks, dans la figure 3. Ces deux chapitres démontrent que le Capitalocène se lit bien dans les sols de ses infrastructures¹⁹⁷, et que la pratique spatiale des régimes s'est progressivement désencastrée des sols à partir de la Grande Accélération.

Les deux derniers chapitres examinent les interactions dialectiques entre production d'espace et espace produit. Le chapitre 4 invite à sortir définitivement de la vision de la production d'espace sur une page blanche abstraite et désocialisée et met en lumière l'importance du travail de reproduction et d'extension d'espace produit. Il propose ainsi une histoire des "anciens stocks" sur la figure 3. En partant des débats qui font suite à la destruction d'une partie des routes nationales, en situant les arguments et en rappelant pourquoi les conditions étaient réunies pour un changement, nous expliquons comment le réseau a été matériellement élargi et épaissi entre 1969 et 1990. Nous détaillons par quels mécanismes l'opération d'entretien du réseau est rendue inattaquable idéologiquement – en particulier par sa représentation comme capital (fixe) à préserver. Contre l'histoire d'une adaptation mécanique à un nouvel usager, nous montrons que cette transformation s'inscrit et accompagne celle du Fordisme. L'espace des routes, comme celui des ports, n'est pas reconstruit à l'identique : il est reproduit de façon à adapter l'ancienne infrastructure au nouveau régime¹⁹⁸.

Le chapitre 5 rend compte de la dialectique entre espaces-déchets, espaces extractifs et espaces produits, ici les flèches verte et orange sur la figure 3. Il met en évidence la permanence d'un *Problème* que se posent les ingénieurs depuis le XIXe siècle – comment valoriser des grandes masses de déchets – et d'une solution privilégiée – la production d'espace. Nous montrons les affinités et les décalages avec les structures des régimes d'accumulation et en particulier la transformation de la solution en cause première du *Problème*. De façon analogue aux espaces extractifs, la pratique spatiale du Néolibéralisme exige une gestion plus poussée des espaces-déchets. Rendre intelligible les dynamiques de valorisation des grandes masses de déchets sur le temps long nécessite le concept de pratique spatiale. Ces deux derniers chapitres détaillent pourquoi les espaces produits constituent, matériellement et idéologiquement, de sérieuses entraves pour toute bifurcation de trajectoire socio-écologique.

197. "building practices and technologies, principally defined by layers upon layers of concrete and asphalt, could remain imprinted on the lithosphere for millennia to come" : J. Zalasiewicz et al., « Stratigraphy of the Anthropocene », *Philosophical Transactions : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369.1938 (2011), p. 1036-1055.

198. Le chapitre 4 prétend avoir dénoué la tension entre les démarches de l'historien et de l'économiste hétérodoxe. Affirmer que les dégâts sur le réseau national vont conduire à une nouvelle infrastructure qui consolide le régime d'accumulation en place n'a aucun sens si l'on se place en janvier 1963. Si le chercheur de 2022 peut expliquer en quoi effectivement la production d'un réseau adapté aux poids lourds était une condition importante dans l'internationalisation de l'économie, l'intérêt à réparer une route en 1963 se comprend banalement par l'adaptation, qui sert certains intérêts, d'une infrastructure à de nouveaux véhicules. Il n'y a aucune raison *ex ante* pour que cela profite au régime macroéconomique. C'est *ex post* que nous pouvons affirmer que le secteur automobile comme l'internationalisation de l'économie bénéficient au régime fordiste et que la pratique spatiale du Fordisme inclut la production d'un certain réseau routier national.

En dénaturisant la production de l'espace, ce travail espère modestement contribuer à l'identification de quelques verrous qui rendent les stocks si pesants. Un préalable pour penser des perspectives plus légères.

Chapitre 1

Extractivisme ordinaire

Ce chapitre analyse la production d'espace par l'interaction dialectique entre espaces extractifs et chantiers. Il démontre l'existence d'un extractivisme, assez ordinaire, en France depuis 1945. Pour rendre possible la poursuite continue d'une intense production d'espace, en dépit des oppositions, les carrières ont du être progressivement intégrées dans la pratique spatiale du Néolibéralisme.

1.1 Matières de l'espace, espaces de la matière

Comme le béton, le sable connaît une petite, et récente, gloire médiatique à la suite d'une série d'articles ou documentaires diffusés par des médias influents¹ : “la guerre mondiale du sable est déclarée” ; “mafias du sable en Inde” ; “le sable, matière en voie de disparition” ; “Cap-Vert : les forçats du sable” ; “Maroc, razzia sur le sable” ; “le sable fait disparaître des îles en Indonésie”. Les accents exotiques de ces titres distordent la réalité : après l'eau, la matière la plus “consommée” au monde n'est pas le béton², mais le granulat³, terme générique qui désigne des grains de dimension comprise entre 0 à 125 mm, et qui inclut sable et gravier⁴ ; le granulat n'est pas, du tout, une matière rare⁵ ; il est tellement abondant et sans valeur qu'il n'existe pratiquement pas de commerce international (sauf pour des cités-États, comme Singapour, et entre régions limitrophes). Tout ceci vaut pour la France : il a été extrait 20 milliards de tonnes (Gt) de granulat depuis 1945, de loin la plus grande extraction du pays (figure 1) ; depuis cinquante ans, environ 1 Mt/jour ou 20 kg/hab/jour ou 7 t/hab/an ; le sable ne représente qu'une partie, aujourd'hui minoritaire, des granulats extraits ou consommés ; l'extraction de granulat marin existe depuis les années 1970, en toute connaissance de cause que “draguer du sable au large des plages favorise une disparition de ces plages⁶” ; c'est

1. *Les Échos* (24/02/2016) ; *Le Monde* (06/06/2018) ; *Guardian* (27/02/2017 ; 01/07/2018), *Arte* (2013).

2. La terre comme matériau de construction – l'adobe, brique de terre moulée – est aussi très importante mais très mal évaluée quantitativement.

3. En 2010, le granulat représente 79 % de la matière extraite pour les stocks dans le monde : Krausmann et al., « Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use », *op. cit.*, p. 1881.

4. Mais aussi : moellons, galets, ballast, gravillons, sables, sablons, farines ou fillers.

5. Comme pour d'autres matières, le problème tiendrait à l'abondance plus qu'à la rareté. C'est le cas du pétrole, dont la production a explosé dans les années 2000 et 2010, tiré par du pétrole de schiste et le offshore, alors que certains annoncent la fin des gisements et un pic d'extraction depuis des décennies.

6. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, octobre 1968, p. 100.

une matière de faible valeur monétaire et abondante. Pour saisir l’extractivisme ordinaire de façon immédiatement dialectique, nous introduisons le chapitre par une crise majeure de la production d’espace.

1.1.1 Un pont s’effondre

Un pont s’effondre, du moins quelques piles centrales s’affaissent, le dimanche 9 avril 1978 à Tours. Il s’agit du pont Wilson : ouvrage long de 440 mètres datant du XVIII^e siècle qui permet à la route nationale 10, qui relie Paris à l’Espagne, de franchir la Loire. En plus des revues spécialisées⁷, la presse nationale comme les journaux télévisés commentent son délitement dans les jours qui suivent⁸. Quelques hypothèses sont évoquées : phénomène karsitique, succession de crues et sécheresses, pieux en bois pourris, etc. Les ingénieurs du LRPC de Blois, dont l’intervention est sollicitée par la Direction Départementale de l’Équipement d’Indre-et-Loire, repèrent assez vite le responsable de “l’accident”. Leurs conclusions, rédigées dès janvier 1979 et présentées dans diverses revues de travaux publics, sont sans ambiguïtés : la cause principale est l’extraction massive de granulat alluvionnaire qui a radicalement bouleversé la géométrie fluviale. Au pont Wilson, le lit de la Loire s’est approfondi de 60 cm de 1973 à 1977, de sorte que les pieux de fondations, en bois, ont été déchaussés et ont pourri au contact de l’air. La préconisation s’en déduit logiquement : “les constatations faites à propos de l’accident, ainsi que les désordres qui ont affecté d’autres ouvrages ont prouvé qu’il fallait absolument limiter les extractions de matériaux dans la Loire et dans les rivières analogues, quel que soit l’intérêt économique de ces extractions, pour éviter de mettre en danger les fondations des ponts⁹”. A la suite de cet événement, l’ingénieur responsable du rapport répète aux carriers que la Loire “n’est pas une source de granulats inépuisables¹⁰”. En aval de Tours, entre Saumur et Nantes, tous les ponts anciens sont directement menacés¹¹.

Ces ingénieurs n’ont pu être surpris. En effet, dix ans plus tôt, en 1967, ce même laboratoire avait réalisé un inventaire des extractions sur trois départements (Loiret, Loir-et-Cher et Indre-et-Loire) et comptabilisé 7,6 Mt de granulat extrait dans 88 carrières¹². Ces acteurs, comme d’autres spécialistes du fleuve¹³, savaient que l’extraction dépassait largement les apports d’alluvions provenant de l’érosion – qui ne dépassent pas 0,6 à 1 Mt/an¹⁴. Une brochure de la section “Centre” de l’UNICEM avait averti dès 1975 sur le besoin de sortir du mythe

7. Cet effondrement est commenté dans *Bull. liaison* (sept.-oct. 1980), *Travaux* (juin 1980, 1981, sept. 1983), *Annales des Mines* (mars-avr. 1981), *PCM* (avr., déc. 1982, déc. 1985).

8. Voir la vidéo sur le site de l’INA. <https://www.ina.fr/ina-eclaire-actu/video/caa7800827301/effondrement-du-pont-wilson-a-tours>

9. *Bull. liaison* (sept.-oct. 1980, p. 66).

10. *L’Équipement Mécanique* (mars 1980).

11. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 180).

12. *Bull. liaison* (sept.-oct. 1980).

13. Dès le début des années 1960, Babonaux observe, dans le cadre de sa thèse de géographie historique soutenue en 1966, que l’extraction en Loire a augmenté de 600 000 m³ en 1860 à 2,2 Mm³ en 1960 et à 3,4 Mm³ en 1964. Les réserves de fonds quaternaires sont déjà entamées : Y. Babonaux, *Le lit de la Loire, étude d’Hydrodynamique fluviale*, Mémoires de la Section de Géographie 5, Paris, Publication du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 1970, p. 223-226.

14. Voir : *PCM* (août-sept. 1981) ; F. Nabet, « Etude du réajustement du lit actif en Loire moyenne, bilan géomorphologique et diagnostic du fonctionnement des chenaux secondaires en vue d’une gestion raisonnée », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2013.

de la Loire comme source inépuisable de sable¹⁵. Dans le département de la Nièvre, une corrélation est établie entre le rythme des extractions de granulats dans le lit mineur de la Loire et la vitesse de l'enfoncement : l'abaissement annuel entre 1976 et 1978 est dix fois supérieur à celui de la fin du XIXe siècle¹⁶. Malgré toutes ces connaissances, les records d'extraction dans ce fleuve sont atteints dans la seconde moitié des années 1970, avec une moyenne de 10-13 Mt/an, et une extraction massive se poursuit jusqu'au début des années 1990 (1.4.1). Entre 1949 et 1995, le rythme annuel moyen d'extraction est au moins cinq fois plus grand que celui des sédiments historiques. Cet écart, systématique et sur une si longue durée, entre niveaux d'extraction et renouvellement "naturel" justifie à lui seul le terme d'extractivisme.

Cette scène contient quelques ingrédients dont nous expliciterons le rôle : Ponts et Chaussées, inventaires, bouleversement des rivières, appels à réguler l'extraction, tension entre réflexivité et dégâts, etc. Cet effondrement, qui s'inscrit dans une longue liste¹⁷, n'est qu'une expression d'une transformation majeure et durable des régimes hydrologiques et géomorphologiques de toutes les grandes rivières de France causée par l'extraction de sables et graviers dans des proportions inédites¹⁸. Il s'inscrit dans une période de fortes tensions qui ont menacé la production de grandes infrastructures, au point de faire "prendre conscience" de la gravité du problème de l'extraction et de contraindre les pouvoirs publics à réagir.

1.1.2 Coaménagements, coproduction

Comme dans les autres chapitres, nous allons resituer ce moment dans l'histoire longue de la production d'espace, qui est aussi celle d'un extractivisme. Ce pont qui s'effondre est la collision concrète, par l'intermédiaire de la Loire, entre le bâti et ce qui sert à le produire, l'espace produit et l'espace caché, l'aménagement souhaité et l'aménagement en creux. Que les carrières soient des aménagements est d'ailleurs un fait qui, comme nous le montrons, devient partagé par les administrations et les carriers à partir des années 1970. La production d'infrastructures doit donc se comprendre comme une production simultanée de deux espaces (au moins¹⁹). Ce chapitre montre que la production d'espace d'Henri Lefebvre

15. *L'Équipement Mécanique* (mars 1980, p. 19-20).

16. L'auteur travaille alors au service hydrologique de la Direction Régionale de l'Environnement. À la suite de l'effondrement du pont, une étude de ce service sur le suivi de l'évolution du lit de la Loire du milieu du XIXe siècle à 1978, démontre un fort abaissement du niveau, avec environ deux mètres à Tours : Z. Gasowski, « L'enfoncement du lit de la Loire », *Revue de géographie de Lyon* 69.1 (1994), p. 41-45.

17. Dans la vallée de la Moselle, un grand pont est détruit en 1966. En avril 1971, un pont sur l'Endre a été emporté alors même que les dangers de l'extraction avaient été signalés au préfet du Var dans une lettre de septembre 1968 par un membre de la SPPF. Voir : *Sites et Monuments* (avr. 1971, p. 29) ; S. Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" dans la vallée de la moyenne Moselle. Le paysage révélateur des conflits spatiaux liés à l'extraction des alluvions », *Géocarrefour* 75.4 (2000), p. 293-304.

18. G. Maire et S. Lasserre, « Structure et fonctionnement d'un système fluvial déséquilibré par l'intervention anthropique : la Moselle non canalisée à la sortie du massif vosgien », *Mosella* XVIII (1988), p. 39-81 ; J.-L. Peiry, P.-G. Salvador et F. Nouguier, « L'incision des rivières dans les Alpes du nord : état de la question », *Revue de géographie de Lyon* 69.1 (1994), p. 47-56.

19. On pourrait, bien sûr, ajouter tous les espaces intermédiaires : là où la matière est nettoyée, transformée, assemblée, les dépôts et emprunts de terres, etc. Mais aussi, la cimenterie, l'usine de béton préfabriqué ou prêt à l'emploi, l'usine qui sert à produire des pelles mécaniques, des camions toupies, etc.

gagne en intelligibilité si on la pense comme coproduction²⁰ – il s’agit de penser la dynamique des espaces reliés par la flèche bleu, ainsi que son empreinte spatiale, dans la figure 3.

Chaque chantier est nécessairement rattaché à des carrières. Si celles utilisées pour produire les villes se trouvent dans un rayon relativement stable et déterminé, les grandes infrastructures de transport, dont la production a pour spécificité d’être mouvante, sont associées à des carrières qui vont parfois ne servir qu’une seule fois (souvent ouvertes ou agrandies pour le chantier). Dans le cas de la construction d’une autoroute, et même pour un renforcement coordonné d’une route nationale (chap. 4), les ingénieurs doivent déterminer à l’avance la localisation des carrières selon les qualités requises et les rendements attendus²¹. Chaque chantier de l’AT peut ainsi être précisément rattaché à un ensemble de carrières situées à proximité²². Dans les archives, des autoroutes, des centrales nucléaires et des grands ensembles sont rigoureusement reliés à des sables dragués en rivières ou en mer²³. *A contrario*, chaque grande carrière peut être associée à un certain nombre de chantiers²⁴. L’appariement est principalement fonction de la distance, de la géologie, des réglementations, des techniques, mais aussi des oppositions, dont l’intensité varie dans chaque cas.

Cette entrée institutionnaliste nous évite d’emblée les approches par les “coûts” (des infrastructures²⁵), les “impacts” (des carrières sur l’environnement²⁶), ou réduites aux seuls

20. Ceci n’est qu’une petite portion de l’extraction de granulat nécessaire au capitalisme français. Une partie des infrastructures construites à l’étranger, qui ont exigé des quantités certainement très importantes de granulat, doit lui être attribuée.

21. Le choix des sources d’approvisionnement est fixé après un répertoire des carrières et ballastières existantes susceptibles de fournir des matériaux adéquats. Les approvisionnements sont pensés de façon à ce qu’au début des travaux de fabrication et de mise en œuvre, des stocks très importants soient constitués.

22. Un travelling sur l’autoroute A6 relie chaque petit tronçon de chaque section aux carrières associées (*Chantiers de France*, juil.-août 1969, p. 1-20, nov.-déc. 1969, p. 1-20). Du fait d’une valeur monétaire plus importante, les carrières nécessaires à la fabrication du ciment peuvent être éloignées du chantier. Les constituants du ciment (calcaire, argile et gypse) ont en revanche une faible valeur et doivent être à proximité de la cimenterie (surtout le calcaire). Dans une étude très complète réalisée il y a presque un siècle sur 128 usines, l’éloignement des carrières aux fours ne dépasse pas 4 km : R. Blanchard, « L’industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *Revue de géographie alpine* 16.2 (1928), p. 255-376.

23. Du granulat marin est utilisé pour les fondations de la centrale de Gravelines ou celle de Penly (*L’Équipement Mécanique*, 1978, n°164, p. 25-27 ; *Mines et Carrières*, oct. 1986, p. 549).

24. La gravière de Pont-de-Coudoux, mise en service à l’été 1963 sert à produire l’usine hydro-électrique de Saint Chamas sur la Durance, à allonger la piste de l’aéroport à Marignane et à divers chantiers près de Marseille. L’usine et les carrières de la Société des Ciments Français à Beaucaire se développe, entre autres, avec la création de la Compagnie Nationale du Rhône, les stations balnéaires du littoral du Languedoc, et du Port Autonome de Marseille (*Chantiers de France*, mai 1972, p. 41-52).

25. Voir la thèse suivante, qui ne mentionne pas les carrières de granulat : H. Chalmeton, « Préservation de l’environnement et travaux publics. Difficultés pratiques et solutions juridiques », Thèse de doctorat en droit public, Université de Nantes, 2007.

26. Pour des détails sur les dégâts écologiques, et les références à ce sujet, on renvoie le lecteur aux thèses suivantes : D. Mimoun, « Spatialisation de l’information : une aide à l’analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation des sites post-industriels - Cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire », Thèse de doctorat en science de la terre et de l’environnement, Université Jean Monnet, 2004 ; T. Martaud, « Evaluation environnementale de la production de granulats en exploitation de carrières - Indicateurs, Modèles et Outils », Thèse de doctorat en sciences de l’univers, Université d’Orléans, 2008 ; Nabet, *op. cit.* ; J. Chenot, « Réhabilitation écologique d’écosystèmes dégradés par l’exploitation des carrières : faire avec, refaire ou laisser faire la nature ? », Thèse de doctorat en écologie, Université d’Avignon et des Pays de Vaucluse, 2018.

“conflits” (contre cette extraction²⁷). Les recherches qui isolent l’un des deux espaces, l’infrastructure de la carrière ou la carrière de l’infrastructure, pour examiner leurs liens avec “l’environnement”, courent le risque de naturaliser les besoins²⁸. C’est aussi la raison pour laquelle nous conservons l’échelle nationale : si chaque carrière comme chaque infrastructure a ses spécificités, et mériterait une étude exhaustive, si les cas particuliers peuvent révéler les règles générales qui sont à l’œuvre, il est utile pour l’analyse de voir la cohérence d’ensemble dans la dynamique de la coproduction²⁹.

Étudier les espaces cachés d’une économie (ou d’un secteur) est banal : c’est, *in fine*, ce que font les articles sur l’échange écologique inégal ainsi que les recherches sur les espaces et flux “fantômes” (hectares, travail, matière, énergie) du commerce international³⁰. En général cette littérature met en lumière des espaces brutalement transformés, des pollutions dramatiques, du travail forcé, etc. Le mot extractivisme y a été introduit pour décrire les pillages systémiques dans le Sud Global pour la reproduction des capitalismes du Nord Global³¹ – le fait que des pays sont obligés d’extraire et d’exporter des milliards de tonnes, et d’y consac-

27. Cela fait au moins un siècle que des institutions s’en émeuvent. Ici un député belge au congrès international pour la protection des paysages (à Paris en 1909) : “les nécessités modernes tendent à bouleverser chaque jour ces aspects de notre sol, à tarir ces fontaines de Beauté. Là, c’est une carrière qui creuse, au flanc de la colline, des trous béants comme une blessure et disperse, autour d’elle, des débris de rochers aux tons criards ; là, c’est un charbonnage ou un haut-fourneau qui érige, au-dessus des campagnes, un géométrique cône de déblais ; là, encore, c’est un chemin de fer qui, par des tranchées ou des remblais, déchire brutalement les apparences les plus charmantes.” (*Sites et Monuments*, 1910, p. 61). Dès 1904 la SPPF attire l’attention de l’Administration sur la nécessité de préserver les forêts que coupe l’exploitation d’un trop grand nombre de carrières. Voir le récit d’un conflit en 1910 contre une carrière de l’entreprise Solvay : X. Daumalin, « Les beautés "naturelles" méditerranéennes à l’épreuve des multinationales industrielles : l’affaire de la calanque de Port-Miou », dans : *Engagements. Culture politique, guerres, mémoires, mondes du travail XVIIIe-XXIe siècle*, Aix-en-Provence, Presses universitaires de Provence, 2016, p. 361-374.

28. L’exemple le plus frappant est le travail d’Arnaud Berthonnet qui consacre 236 pages aux liens entre Ponts et Chaussées et granulats sans jamais évoquer aucun conflit. En géographie, si une certaine coproduction est envisagée, ce sont les besoins d’une (indistincte) “société humaine” qui en sont à l’origine, sans que les grandes infrastructures ne soient interrogées : Edelblutte, « "Logique d’exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.* ; A. Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées avec les entreprises routières, les constructeurs de matériels et les producteurs de granulats français de 1945 à 1980*, Ministère de l’Équipement, des Transports et du Logement, 2003.

29. D’autres études sur le temps long, avec d’autres matériaux de construction : H. Raulin, « Les carriers et les tailleurs de grès de la région parisienne », *Arts et traditions populaires* 3 (1961), p. 193-248 ; C. Reverchon et P. Gaudin, *Carrières et carriers en Provence : un siècle d’extraction de la pierre du Midi*, Rapport de recherche, Paris : Créaphis, 1987.

30. A. Hornborg, *Global Ecology and Unequal Exchange : Fetishism in a Zero-Sum World*, Routledge, 2012.

31. L’extractivisme est souvent synonyme d’extraction de matière à une échelle supérieure aux capacités de régénération des écosystèmes. Ce terme, comme celui de neo-extractivisme, est beaucoup étudié dans le champ de la *political ecology* et dans les recherches actuelles sur les développements des économies latino-américaines, qui prolongent les théories de la dépendance des années 1970 : S. G. Bunker, *Underdeveloping the Amazon : extraction, unequal exchange, and the failure of the modern state*, Chicago, University of Chicago Press, 1988 ; H.-J. Burchardt et K. Dietz, « (Neo-)extractivism – a new challenge for development theory from Latin America », *Third World Quarterly* 35.3 (2014), p. 468-486 ; A. Bednik, *Extractivisme. Exploitation industrielle de la nature : logiques, conséquences, résistances*, Neuvy-en-Champagne, Le passager clandestin, 2016 ; A. Schaffartzik et al., « Global patterns of metal extractivism, 1950–2010 : Providing the bones for the industrial society’s skeleton », *Ecological Economics* 122 (2016), p. 101-110 ; A. Dunlap et J. Jakobsen, *The Violent Technologies of Extraction : Political ecology, critical agrarian studies and the capitalist worldeater*, Cham, Springer International Publishing, 2020.

crer des millions d’hectares, année après année, tout en restant “sous-développés” et dominés par d’autres. Alors que les chercheurs interrogent, à juste titre, l’extractivisme de matières de grande valeur ajoutée (comme les métaux) que causent les logiques d’accumulation du Nord Global dans le Sud Global, qui s’imbrique à des logiques impériales et coloniales, il n’existe pas d’enquête sur un extractivisme essentiellement intra-national. Si les écarts entre cette littérature sur l’extractivisme et ce chapitre sont importants – que ce soit le modèle centre-périphérie³², qui n’est pas judicieux ici³³, mais aussi les flux monétaires, comme les niveaux d’exploitation, de dépossession, de pollutions et de violences –, raisons qui expliquent pour partie le désintérêt académique pour cette extraction, il nous semble pertinent, dans un geste courant en anthropologie (retrouver dans le proche ce qu’on observe dans le lointain), d’utiliser cette expression pour examiner ce qui rend possible l’extraction de plus 20 Gt de granulat depuis 1945. Comme pour les hectares “fantômes”, il faut comprendre par quels dispositifs institutionnels des espaces extractifs sont mis au service d’infrastructures³⁴. En général la production d’inégalités (sociales, écologiques, économiques) tient pour une large part aux rapports de forces géopolitiques et au différentiel entre réglementations sociales et environnementales des États. Si notre terrain est différent, puisque la coproduction est étudiée au sein d’un même espace national (et dans un pays riche), les questions analogues peuvent nous servir : de quels milieux dépend l’AT, comment sont-ils pris en charge, quelles sont les contestations et les réponses apportées ?

Nous allons déplier ici l’histoire d’un extractivisme ordinaire – son ampleur, ses raisons, sa permanence, ses difficultés – à partir de la production d’infrastructures. La section 1.2 le décrit et le caractérise en relevant ses spécificités vis-à-vis de l’histoire des carrières. La section 1.3 montre qu’il ne va pas de soi en mettant l’accent sur les tensions qui s’accroissent au début des années 1960, principalement au sujet des gisements alluvionnaires. Contrairement à d’autres extractivismes, ce n’est pas la violence (policière, militaire ou paramilitaire) qui est prioritairement mobilisée, mais le droit. La section 1.4 présente la période de gestation et les réflexions sur les premières législations qui produisent des effets tangibles. Elle insiste sur le rôle croissant de la politique des réaménagements de carrières : d’abord espaces cachés, puis espaces consommateurs, les carrières ont été progressivement reconnues comme espaces produits. A grands traits, l’État fordiste est caractérisé par un laisser-faire, alors que l’État néolibéral instaure des planifications, toujours plus écologiques, de ces espaces. Ce chapitre montre que la pratique spatiale des régimes est sensiblement différente : alors que celle du Fordisme n’inclut les carrières qu’au travers d’inventaires, celle du Néolibéralisme a du progressivement les absorber pour produire le bâti dont le régime avait besoin.

32. Ce modèle théorique, qui peut servir aux échelles globale et locales, montre comment les “centres” organisent les espaces périphériques tout en accumulant du pouvoir et de la richesse : I. Wallerstein, *Comprendre le monde : introduction à l’analyse des systèmes-monde*, Paris, La Découverte, 2006 ; Moore, *op. cit.*

33. Outre qu’il y a dépendance réciproque, les deux espaces répondent au projet d’un même pouvoir, et certaines administrations les pensent conjointement. La “responsabilité environnementale” ne devrait donc être attribuée ni au producteur (ici la carrière), ni au consommateur (les grandes infrastructures), mais aux pouvoirs (surtout l’État) qui soutiennent l’AT.

34. Pour les flux biophysiques et les hectares “fantômes” de l’échange écologique inégal, les modalités au cours des siècles sont diverses : violence armée, droit, brevets, normes, système de la dette, règles de concurrence, traités de libre-échange, etc.

1.2 Caractéristiques de l'extractivisme ordinaire

De 1945 à 2018, il a été extrait 20 Gt de granulat en France métropolitaine. La consommation est supérieure à ce chiffre puisqu'il faut ajouter les importations nettes de granulat et les flux provenant de stocks³⁵. Quelques tendances se dégagent de la figure 1.1 : accroissement fort et ininterrompu pendant tout le Fordisme (extraction par habitant multipliée par sept) ; hausse tendancielle, mais bien plus faible, entre 1974 et 2007 ; baisse marquée depuis 2008. Parmi les faits notables : la période de reconstruction (de 1945 à la fin des années 1950) ne se distingue pas particulièrement ; la plus forte hausse s'observe entre 1960 et 1973 ; la décennie la plus extractive est 1998-2008 (4 Gt en cumulé). Les niveaux les plus élevés ne sont donc pas atteints lors des immenses chantiers des années 1970, quand le territoire s'équipe à toute allure et que les constructions de logements atteignent des sommets, mais au cœur des années 2000, dans la nouvelle économie, prétendument dématérialisée, des services et du numérique. A noter que le saut quantitatif est également spectaculaire dans l'univers des matériaux de construction – on passe, par exemple, de 55 Mt en 1913 pour tous les minerais de construction réunis à plus de 400 Mt pour le seul granulat en 1980³⁶.

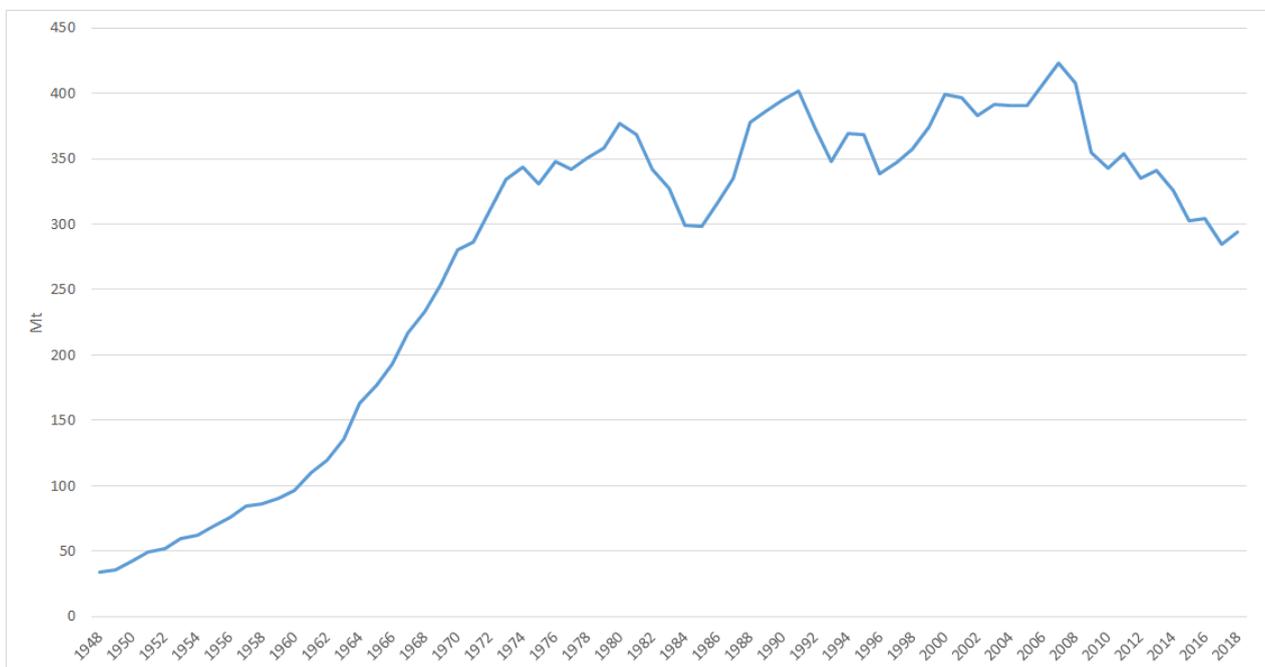


FIGURE 1.1 – Extraction de granulat, en millions de tonnes (Mt), en France³⁷ (1948-2018).

35. Laitier des crassiers, schistes des terrils, béton de démolition, mâchefers issus du traitement des déchets – un ensemble qui représente en moyenne 19 Mt/an depuis 1990. La France est importatrice nette depuis le début des années 2000. Lors du pic d'extraction 423 Mt de 2007, il faut ajouter 23 Mt de granulat "recyclé" et 3 Mt d'importations nettes. Le total consommé avoisine sans doute un peu plus de 21 Gt.

36. La part des granulats dans les matériaux de carrières grimpe de 30 % en 1900 à 75 % après 1950. Guillaume affirme, sans donner sa source, que les carrières extraient entre 1830 et 1880 plus de 3 Gm³ de pierres. Ce chiffre paraît très exagéré : A. Guillaume, « Techniques et matériaux de construction XIXe-XXe siècle, une introduction », *History and Technology* 7.3 (1991), p. 165.

37. Graphique personnel réalisé à partir des données de l'UNICEM. *Nota* : les granulats "artificiels", toujours plus importants (chap. 5), sont exclus ; le graphique par habitant présente des tendances très similaires.

Cette section propose d’historiciser cette courbe et de décrire les contours de l’extractivisme ordinaire. Pour être satisfaisante, la thèse de l’extractivisme demande de prouver une rupture dans l’histoire de la coproduction d’espace. C’est pourquoi nous mettons l’accent sur les différences avec la première rupture métabolique, et la première industrialisation des carrières, qui accompagne notamment la construction des chemins de fer. Parmi les nouveautés, outre l’échelle extraordinaire : le nombre de carriers et de carrières a fortement baissé ; elles sont, en moyenne, bien plus grandes ; les carrières servent d’abord les infrastructures (et le réseau routier) et non le bâtiment ; c’est un extractivisme réalisé par des milliers de PME, non délocalisable (les frais de transports restent la variable qui surdétermine tout le secteur) avec des distances entre espaces coproduits modestes mais en hausse.

1.2.1 Roche meuble ou massive, techniques de la matière

Le granulat n’existe pas en 1945. Évoquer les granulats *a posteriori*, c’est donc projeter une catégorie qui n’a aucun sens pour les acteurs de l’époque – et ce, sans doute, jusqu’aux années 1970³⁸. Ce terme reflète davantage une convention statistique qu’une matière historiquement délimitée. Pour les besoins de l’enquête, nous avons reconstitué la production de granulat depuis 1890, en créant une classe qui regroupe les matériaux désignés aujourd’hui comme tels³⁹. Cette classe réunit deux grandes familles de matériaux qui étaient auparavant totalement séparées dans les statistiques⁴⁰ – où leurs productions sont détachées jusque dans la présentation : granulats de roche meuble et de roche dure⁴¹. Les granulats alluvionnaires, formations meubles issues du démantèlement de roches sous actions de divers agents, se réfèrent aux rivières (ou à la mer⁴²) où on les trouve dans d’épaisses nappes dites alluviales. La constitution de ces nappes est un processus de longue durée (de l’ordre de plusieurs milliers années – en France ces granulats sont déposés par les cours d’eau pendant l’ère du quaternaire). Dans la suite de ce chapitre, nous utiliserons indifféremment : granulat alluvionnaire, roche meuble et sable et gravier, d’un côté ; granulat de roche dure ou de roche massive (calcaire ou éruptif), de l’autre⁴³. La figure 1.2 illustre des dynamiques divergentes. Les granulats issus de roche dure connaissent une progression quasi constante entre 1948 et 2008.

38. Le mot “Granulat” apparaîtrait en 1956. Un manuel précise que le mot tend à remplacer agrégat – utilisé par les carriers jusque dans les années 1970. Auparavant, les agrégats (pluriel) désignent un ensemble de grains destinés à être agglomérés par un liant, et un agrégat (singulier) l’ensemble de grains d’un même type (par la grosseur, par la nature ou par la provenance) : J. Arrambide et M. Duriez, *Agrégats, liants et bétons hydrauliques. Aciers et métaux usuels*, Paris, Éditions du Moniteur des Travaux Publics, 1958, p. 25.

39. Jusqu’en 1975 le terme n’apparaît tout simplement pas dans les statistiques de l’UNICEM, et ce n’est qu’en 1991 qu’est publié un tableau récapitulatif sur la “production totale de granulats”.

40. Jusqu’en 1964, “matériaux de viabilité” et “sables et graviers” sont séparés par de nombreuses pages qui traitent d’autres matières (craie, lave, gypse, produits en béton, béton prêt à l’emploi).

41. En 1975, les statistiques de l’UNICEM font apparaître pour la première fois, dans la section “matériaux concassés de roche et de laitier”, les rubriques : “granulats calcaires de carrières”, “granulats éruptifs de carrières” et “granulats de laitier”. La distinction calcaire/éruptif n’apparaît qu’en 1959.

42. Le granulat marin correspond majoritairement à d’anciens dépôts sédimentaires d’origine continentale situés dans l’axe d’anciennes vallées fluviales.

43. Ceci n’équivaut pas à la séparation classique des roches (métamorphique, magmatique et sédimentaire) puisque les roches dures calcaires et les sables et graviers alluvionnaires sont sédimentaires.

L'extraction issue de roche meuble connaît trois évolutions : forte hausse de 1948 à 1974⁴⁴ ; stabilisation à un haut niveau de 1974 à 1991 ; baisse tendancielle depuis 1992⁴⁵. L'extraction de granulat alluvionnaires domine depuis 1949 jusque 1993, au point que les autres granulats sont désignés comme “granulat de substitution”.

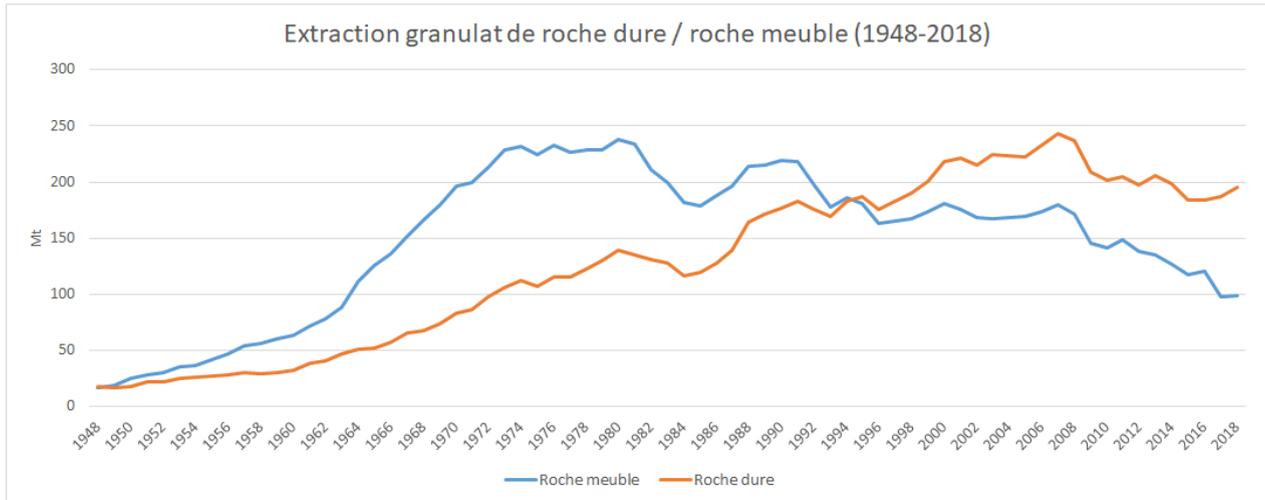


FIGURE 1.2 – Extraction de granulat de roche dure et de roche meuble⁴⁶ (1948-2018).

Cette division sépare à la fois des géologies⁴⁷, des univers socio-professionnels⁴⁸, des techniques d'extraction et même des machines. Le granulat alluvionnaire est produit par un ensemble d'engins similaires à ceux qui servent les chantiers de terrassement (excavateurs, draglines, dragues à godets, dragues suceuses, etc.). Les matériaux charriés par les cours d'eau sont, en général, de très bonne qualité pour le béton : ils sont propres, débarrassés des limons et argiles et de granulométrie homogène. Pour une question de facilité technique, souvent seul un tri mécanique excluant les particules très fines est nécessaire, et surtout de coût, il est donc recommandé, dès 1945, de privilégier l'extraction en rivière⁴⁹. Les “conçassés” requièrent explosifs, concasseurs et cribles. La phase de concassage est présente partout, sauf dans quelques rivières, puisqu'elle permet de calibrer aux dimensions requises. Le procédé est simple : tant que la matière n'a pas la taille souhaitée, on la concasse ; des installations trient ensuite les grains à l'aide de tamis.

44. La production de sable et gravier triple entre 1959 et 1969, alors que le niveau d'extraction est déjà bien supérieur à tout ce que la France a connu, avec un taux de croissance annuel moyen de 11,6 % – un taux très supérieur au PIB (*Annales des Mines*, nov. 1971, p. 135).

45. Ou, deux régimes : hausse tendancielle de 1948 à 1980 ; baisse tendancielle depuis 1981.

46. Les données proviennent de l'UNICEM. Respectivement les nomenclatures “Matériaux d'empierrement”, “Matériaux de viabilité” qui réunit “Granulat calcaire” et “Granulat éruptif” ; et “Sables et graviers” qui devient “Granulat alluvionnaire” (inclut le granulat marin). Ceci exclut les granulats “artificiels”.

47. La géologie conditionne les productions régionales : en 1945, l'IDF et l'Alsace possèdent beaucoup de granulat alluvionnaire, la Bretagne très peu ; les roches magmatiques sont situées dans les massifs anciens (Vosges, Massif central, Massif armoricain) ; les formations calcaires sont répandues un peu partout.

48. La séparation va jusqu'aux syndicats des carriers. En 1966, l'Union nationale des producteurs de granulats (UNPG) est créée au sein de l'UNICEM par la fusion des différents syndicats (sables et graviers, éruptifs, calcaires ainsi que les exploitants d'installations mobiles de concassage).

49. *RGRA* (oct. 1947).

1.2.2 Quels espaces produits ? (techniques des matières)

En première analyse, les dynamiques de la figure 1.1 se rattachent à celles de l'AT – y compris la baisse entre 1981 et 1985, qui illustre le fort ralentissement des projets de grandes infrastructures et la baisse de la construction de logements. La figure 1.2 permet d'utiliser complétement la compréhension de la coproduction, y compris dans sa dimension spatiale. En effet, la division meuble / dure est solidaire de techniques de construction, de sorte que l'évolution des carrières est corrélée à celle du type de bâtis produits. Schématiquement, le grand partage historique, déjà repérable dans les noms des catégories statistiques⁵⁰, est le suivant : le béton exige du sable et gravier des rivières⁵¹, routes et voies ferrées requièrent des roches dures⁵². Ainsi, une technique de construction est, plus ou moins lâchement, rattachée à un type de granulat et d'espace⁵³. Or deux changements fondamentaux, tous deux provoqués par le ciment, apparaissent avec l'industrialisation des chantiers : le béton (armé) et les nouvelles techniques routières. Sur l'ensemble de la période : les travaux publics, et d'abord les routes, sont les plus gros consommateurs de granulat⁵⁴ ; le béton, toujours important, devient minoritaire dans la pratique spatiale du Néolibéralisme, et en baisse⁵⁵.

L'utilisation de béton dans tous les types de construction, surtout à partir des années 1950, constitue une grande transformation de la production d'espace qui va durablement marquer les rivières. La forte hausse des années 1960, multiplication par trois de la production entre 1962 et 1973⁵⁶, est d'abord due aux constructions de bâtiments (logements⁵⁷, universités, écoles⁵⁸, bureaux). La hausse de la production de ciment, sur la même période, reste pourtant

50. Celles-ci étaient fonction de la finalité : “sables et graviers pour mortiers et bétons” ; “matériaux de viabilité”, “matériaux pour ballast et empierrement”, “matériaux de pavage”.

51. Le sable des déserts est impropre : trop fin, trop lisse, contenant trop d'argile, d'oxydes de fer et de chaux. La part des granulats alluvionnaires utilisés en techniques routières baisse de 47 % en 1978 et 36 % en 1993. Pour les bétons hydrauliques, on utilise : 89 % de granulat alluvionnaire en 1978 et 79 % en 1993.

52. Les granulats éruptifs sont, par exemple, adaptés aux usages routiers et pour les ballasts des voies ferrées car ce sont des matériaux d'une grande dureté avec bonne tenue au compactage, ayant un bon coefficient d'angularité. Les sables éruptifs sont, *a contrario*, déconseillés pour les bétons (en partie parce qu'ils n'ont pas toujours une bonne adhérence aux liants hydrauliques).

53. Bien sûr les rivières peuvent servir à produire tous les espaces dans un département comme la Haute-Garonne, où 96,7 % des granulats extraits sont alluvionnaires en 1975 (*Bull. liaison*, juin 1977, p. 27).

54. Il faut en moyenne 4,7 t de granulat par mètre linéaire pour épaissir (“renforcer”) une route nationale, et 30 t par mètre pour construire une autoroute “semi-rigide”. Les parts pour le génie civil et pour le bâtiment sont les suivantes : 67 % (247 Mt) et 33 % (121 Mt) en 1981 ; 77 % (301 Mt) et 22 % (85 Mt) en 1999 ; 82 % (365 Mt) et 18 % (80 Mt) en 2018.

55. La part pour le béton hydraulique est de 51 % du granulat en 1981, 38 % en 1991 et 27 % en 2018. Toutes les données viennent de l'UNPG. Le dernier rapport : UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2018, 2020*.

56. Multiplication par 46 de la production de béton prêt à l'emploi : de 550 000 m³ en 1963, quand naît cette industrie, à 23,1 Mm³ en 1973 (*UNICEM*, oct. 1974, nov. 1974).

57. Il faut 80 à 100 t de granulat pour un logement d'immeuble collectif moyen. Sur les 21,1 millions de logements existants en 1975, 8,7 millions auraient été construits entre 1950 et 1975 (le nombre passe de 30 000/an en 1949 à plus de 500 000 au début des années 1970) : M. Lescure, *Immobilier et bâtiment en France (1820-1980) : histoire d'une filière*, Paris, Hatier, 1983, p. 70.

58. Les prévisions de consommations de granulat pour 1985 pour la région parisienne attribuent 12 Mt pour le logement et 38,5 Mt pour d'autres bâtis. L'Éducation Nationale aurait été, en 1970, le plus gros service constructeur selon un livre cité par : A. Resendiz-Vazquez, « L'industrialisation du bâtiment. Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973) », Thèse de doctorat en histoire des techniques et de l'environnement, Conservatoire national des arts et métiers, 2010, p. 9-10 ; ce chiffre est

inférieure à celle des granulats et, si depuis les années 1970 une corrélation se maintient entre les deux courbes, la consommation de ciment baisse nettement⁵⁹. La raison est simple : la croissance des travaux routiers est plus rapide que celle de bâtiments, de sorte que la hausse de la consommation de granulat par le génie civil est encore plus importante⁶⁰. Si le béton est principalement dédié au bâtiment, les travaux publics en consomment une partie très importante (barrages, chaussées en béton, ponts, pistes d'atterrissage⁶¹).

Pour ce qui est de la technique routière, on constate une tendance à la décroissance des matériaux les plus importants : après la dalle, le pavé, le macadam, les années 1950 marquent le passage vers la domination des petits éléments comme les gravillons⁶². La dimension inférieure du matériau considéré "noble" avant 1940 est d'ailleurs la dimension supérieure de celui d'après 1960. Avec l'apparition du compactage et le perfectionnement des techniques de stabilisation des sols (chap. 3) apparaissent des exigences de plus en plus précises sur le classement, la forme, la nature et la propreté des matériaux⁶³ – parfois issus des rivières⁶⁴. Ainsi, tout changement dans la norme dominante de construction conduit potentiellement à intégrer de nouveaux espaces extractifs dans la production d'espaces⁶⁵. Les normes nationales et les prescriptions des cahiers des charges deviennent alors cruciales dans les caractéristiques de la coproduction d'espaces et constituent, par conséquent, un enjeu de luttes pour les acteurs intéressés. L'exemple le plus important concerne celles prescrites par les Ponts et Chaussées, qui sont parfois obligatoires pour les marchés des Travaux Publics passés au nom de l'État⁶⁶.

contesté par l'étude du SAEI qui lui attribue moins de 5 % du total : SAEI, *La consommation de granulats dans la Région parisienne en 1985*, Service des affaires économiques et internationales, septembre 1972.

59. Le maximum atteint 32,2 Mt en 1974, contre 18 Mt en 2017.

60. Le découpage est le suivant : 113,6 Mt pour la construction ; 85,4 Mt pour la viabilité ; 25 Mt pour d'autres travaux publics en 1966 ; 202 Mt pour la construction et 148 Mt pour la viabilité en 1978 (*Travaux*, LR, 1967, p. 57 ; *Annales des Mines*, nov. 1971, p. 135, mars-avr. 1981, p. 63).

61. La construction de barrages consomme au moins 1 Mm³ de béton armé en 1949. Le volume total de béton du barrage de la Grande-Dixence en Suisse, matière célébrée dans le premier court métrage de Jean-Luc Godard (1954), *Opération béton*, atteint les 6 Mm³. Le volume de béton nécessaire à la confection d'une piste à Orly correspond à 37 km d'autoroute à deux voies et à deux sens de circulation. Début des années 1980, il y a environ 4,2 Mm² de chaussées en béton à Orly et Roissy. Elles sont plus rares sur le réseau routier et concernent très majoritairement les autoroutes : 625 des 739 km. Quelques ordres de grandeur : environ 1 Mm³ de béton pour la centrale nucléaire de Paluel ; 800 000 m³ pour le chantier de Donzère-Mondragon ; 300 000 m³ pour la section d'autoroute entre Auxerre et Nemours. Le béton du viaduc de Millau contient 150 kt de granulat. Chaque année, des milliers de kilomètres de canalisation et de bordures en béton sont construites. Voir : *RGRA* (jan. 1967, p. 40, sept. 1984, p. 7) ; M. Venuat, *Ciments et bétons*, 3ème édition, Paris, PUF, 1978, p. 101 ; D. Barjot, « Reconstruire la France après la Seconde Guerre mondiale : les débuts d'Électricité de France (1946-1953) », *Entreprises et histoire* 70.1 (2013), p. 54-75.

62. Les gravillons ne sont pas considérés comme un matériau de construction pour les routes avant les années 1920, voire 1930. La généralisation des enduits superficiels et l'adoption de la technique des enrobés en 1955 ont créé un besoin massif de gravillons tandis que disparaissent les emplois de macadam.

63. *RGRA* (juil. 1950, déc. 1950).

64. Un exemple : des centaines de milliers de tonnes de granulat sont extraits dans l'Allier pour l'autoroute B71, qui relie Clermont Ferrand à Saint-Étienne (*L'Équipement Mécanique*, n°163, 1978). La construction d'une déviation reliant Épinal et Nancy au début des années 1970 repose sur l'extraction de granulat dans le lit mineur de la Moselle : Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

65. Les routes nationales renforcées sont associées aux crassiers (chap. 3 et chap. 5).

66. C'est le cas du fascicule 23 du "Cahier des prescriptions communes" du LCPC, intitulé "fournitures de granulats employés à la construction et à l'entretien des chaussées" (*RGRA*, jan. 1963, juin 1963 ; *Routes et Carrières*, 1968). Le décret du 15 juin 1968 rend ces prescriptions obligatoires aux marchés des Travaux Publics

Le fait qu’elles favorisent les granulats alluvionnaires pour certaines techniques⁶⁷ provoque des émois chez les producteurs de granulats issus de roches massives. En réaction, leur syndicat réalise un intense lobbying pour l’utilisation de granulats éruptifs dans les travaux routiers, y compris *via* de nombreuses publicités dans la *RGRA*, et la création de la revue *Routes et Carrières* en 1960. Leurs efforts, y compris les démonstrations apportées aux Ponts et Chaussées sur la qualité et le prix⁶⁸, seront récompensés – le granulats de roche dure servira par exemple massivement le programme de renforcements coordonnés (chap. 4).

1.2.3 Extractivisme local et diffus

Le coût de transport entre les espaces coproduits est l’aspect le plus caractéristique de cet extractivisme. Alors que l’extractivisme usuel, comme celui des minerais métalliques, se caractérise en général par l’exportation sur des très longues distances, l’extractivisme étudié ici se distingue par son localisme. Comme il y a du granulats partout en France métropolitaine, et que l’extraction est facile et peu coûteuse, en particulier pour le sable, sa valeur est très faible⁶⁹, et le coût de transport, en comparaison, très élevé. Une convention de la profession veut que le coût des matériaux double pour un transport par la route de l’ordre de 30 à 70 km⁷⁰. La part du transport des granulats dans le coût des ouvrages varie entre 10 % pour les travaux routiers à 30 % pour les programmes d’entretien. Comme nous le développons plus loin, cette question du transport se dégage nettement dans toutes les discussions et est rapidement prise en charge par les pouvoirs publics.

passés au nom de l’État. De 1968 à 1975, sept directives ou recommandations ont précisé les spécifications relatives aux granulats destinés aux principales techniques routières.

67. Par exemple les revêtements bétonnés (*Bull. liaison*, juil.-août 1963 ; *RGRA*, juin 1963).

68. Afin de rapprocher les deux univers, le Directeur des Routes organise, en 1965, deux colloques qui réunissent Ponts et Chaussées et syndicats matériaux éruptifs et matériaux calcaires et qui sont suivis par la création de la première équipe de “constatation en carrières” chez les Ponts et Chaussées (*RGRA*, n°413, 1966). Les propriétés telles que la résistance, gélivité, propreté, et les courbes granulométriques sont étudiées. Lors d’une “Journée technique” organisée au Touquet le 16 juin 1977, les calcaires durs sont présentés comme les roches ayant la meilleure affinité avec les liants hydraulique et hydrocarboné (*RGRA*, déc. 1977, p. 89).

69. Le chiffre d’affaire du secteur du granulats est assez modeste en comparaison à (ou du fait de) son omniprésence dans les flux de matières. En 1969, les granulats représentent 8 % du CA total des matériaux de construction (qui représentent 3,5 % du PIB). Le chiffre d’affaires total du secteur (entre 3 500 et 4 000 M€ depuis 2006) est moins de deux fois celui de l’industrie cimentière (2 100 à 2 700 M€) qui produit vingt fois moins de quantité. UNICEM, *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2006*, Enquête de branches, 2007 ; UNICEM, *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2016*, Enquête de branches, 2017.

70. Ce consensus, qui remonte à 1945 au moins, n’a longtemps pas eu de base empirique. Anne de Bortoli a récemment calculé, pour une seule carrière, un surcoût de 44 % pour une distance qui augmente de 30 à 60 km. Voir : *RGRA* (oct. 1947, p. 9) ; *Annales des Mines* (nov. 1971) ; G. Arquie, éd., *Granulats*, Association amicale des ingénieurs anciens élèves de l’ENPC, 1980 ; F. Barthélémy, *Schémas départementaux des carrières*, 92-281, Conseil général des Ponts et Chaussées, juillet 1993 ; A. de Bortoli, « Pour un entretien routier durable. Prise en compte des conséquences de l’interaction chaussée-véhicule dans l’aide à la décision des politiques de resurfacement. Illustration par un cas autoroutier français », Thèse de doctorat en aménagement de l’espace et urbanisme, Université Paris-Est, 2018, p. 72-74.

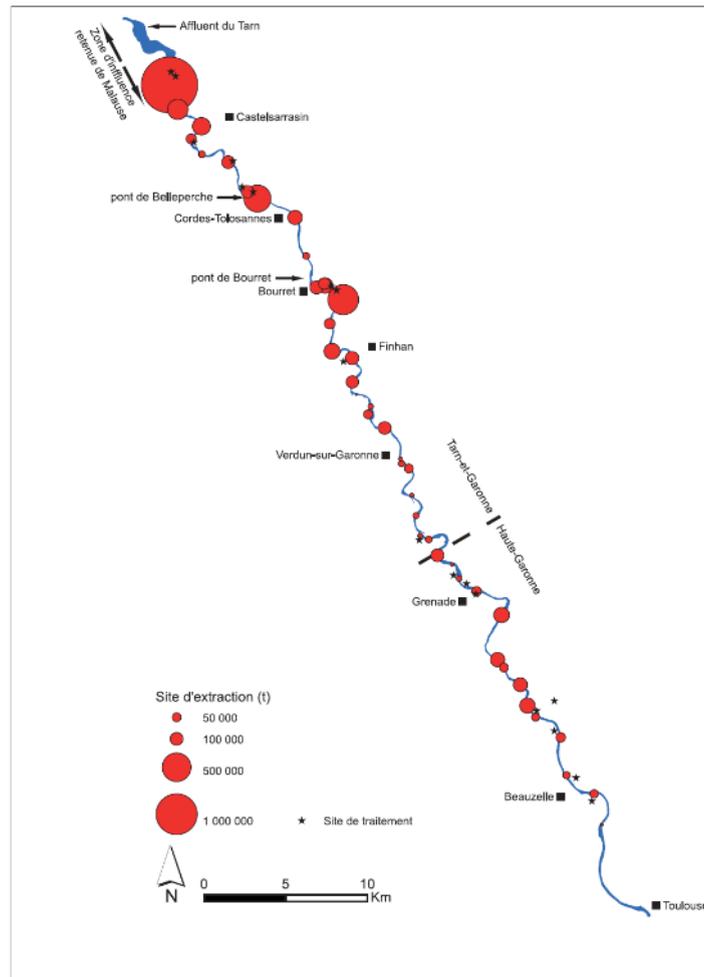


Fig. 3 – Localisation des atterrissements exploités entre 1960 et 1985. Les tonnages extraits correspondent aux estimations faites à partir des documents officiels mais ne sont pas complets en raison de lacunes

Source : DDT 31 et 82

FIGURE 1.3 – Illustration de l'extractivisme ordinaire : des dizaines d'exploitations sur une petite portion de la Garonne entre 1960 et 1985⁷².

Autre fait fondamental : au contraire d'autres matières pondéreuses (charbon ou minerai de fer), le granulat se transporte toujours plus par la route depuis 1945 (et ce, peu importe la mesure⁷³). Sauf pour la région parisienne, le transport par la voie fluviale ou par voie

72. H. Jantzi et al., « Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne toulousaine durant la seconde moitié du xxe siècle », *Sud-Ouest européen* 44 (2017), p. 88.

73. La métrique la plus communément utilisée est la t x km. Le total du transport routier augmente de 4,5 Gt x km en 1965, alors trois fois plus que le transport par voie ferrée, à 14 Gt x km au début des années 1990 et une moyenne de 12 Gt x km entre 1991 et 2001. Entre 1981 et 1990, les pourcentages sont respectivement les suivants : 60-63 % par voie routière; 21-25 % par voie ferrée et 15-16 % par voie fluviale. Du fait des plus longues distances parcourues par voie ferrée, ces chiffres masquent l'écrasante domination du transport par camion. En 1948, 33 Mt de matériaux de carrières sont transportées (37 % par la route). En millions de tonnes, la route dépasse 90 % du total depuis 1991 avec une moyenne annuelle de 380 Mt entre 1991 et 2001. Voir : *Annales des Mines* (fév. 1993) ; UNICEM (oct. 2009) ; BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, op. cit. ; CGPC, *Extraction et production de granulats*, Rapport final du groupe de travail Affaire n°80-109, Conseil général des Ponts et Chaussées, 1982.

ferrée n'est en général pas compétitif⁷⁴. La distance moyenne pour le transport par camion a augmenté de 14,6 km en 1965, à 30 à 50 km selon les régions – 190 km pour le chemin de fer, et 100 km pour la voie fluviale⁷⁵. Comme c'est la principale matière de l'économie française, une part très importante du trafic routier national lui est redevable. Au début des années 1990, 12 % du total du trafic routier et le tiers du trafic des voies d'eau en France concerne le granulat⁷⁶. Depuis cinquante ans, chaque jour ouvrable, environ 1,5 Mt de granulat doivent être produits et livrés par route. En 2003, cela représenterait un camion sur cinq (11 000 à 17 000 camions) mobilisé en permanence pour son transport. Ce qui nous conduit à une autre caractéristique : contrairement à d'autres extractivismes, dont l'empreinte spatiale est relativement stable, définie par un ensemble restreint d'usines de transformations et d'assemblages, l'extractivisme ordinaire touche à des milliers d'espaces qui sont reliés de façon diffuse sur tout le territoire métropolitain. Là où les espaces de l'extractivisme usuel sont invisibles l'un de l'autre, ceux de l'extractivisme ordinaire se situent parfois dans la même rivière⁷⁷.

1.2.4 Transformations des carrières par les rendements

Les hauts rendements exigés par l'AT, 10 ou 12 kt/jour pendant plusieurs années pour un chantier autoroutier, vont conduire à (simultanément) mécaniser, baisser les effectifs et agrandir les carrières⁷⁸. Une dynamique propre à la production d'espace capitaliste, que nous retrouverons pour les terrassements, s'observe : la construction de grandes infrastructures en un temps court exige une mécanisation poussée des carrières, qui exige des investissements importants en matériels, qui pour être amortis demandent des chantiers permanents. C'est parce que des programmes d'aménagement à longue échéance sont planifiés que les carrières peuvent industrialiser en étant assurés que leurs investissements seront amortis.

74. En effet, la route est incontournable, notamment pour l'approche finale des chantiers. D'où la centralité de la rupture de charge, c'est-à-dire l'étape pendant laquelle le granulat est transféré dans un véhicule, immédiatement ou après une période de stockage. Les ruptures de charges sont particulièrement coûteuses car elles impliquent : une perte de temps pendant lequel les véhicules sont immobilisés, une infrastructure qui permette de les accueillir, de les vider et de stocker leur cargaison, du matériel de manutention, du personnel pour mener la manœuvre. Voir : BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, op. cit., p. 9-18.

75. UNICEM (mars-avr.-mai 2003, p. 13).

76. Le président de l'UNPG va même affirmer que les matériaux de carrières représentent près de la moitié du tonnage total transporté en France par route (*Mines et Carrières*, nov. 1985, p. 607). Voir : Barthélémy, op. cit. ; IFEN, *L'environnement en France. Rapport sur l'état de l'environnement en France. Edition 1994-1995*, Paris, Dunod, 1994, p. 230.

77. C'est le cas pour les chantiers hydrauliques, barrages ou canaux. Les ballastières du barrage de Bort sont situées à moins de 2 km sur la Haute-Dordogne (*L'Équipement Mécanique*, déc. 1953).

78. La carrière de Pont-de-Colonne est mécanisée en 1966, équipée en broyeurs et concasseurs, afin de fournir 300 000 m³ de porphyre pour les chantiers de l'autoroute A6. Elle emploie 36 personnes pour une production de 4 kt/jour (*Chantiers de France*, juil.-août 1969). Pour le chantier de l'autoroute A34, il faut 12 kt/jour pendant 16 mois. Comme les carrières et ballastières locales sont insuffisantes, un tiers vient par train (*Routes et Carrières*, nov. 1976, p. 39). Sur l'autoroute A39, une carrière qui produisait 80 kt/an est agrandie pour produire 10 kt/jour (*Travaux*, mars 1997).

Mécanisation et rendements

L'industrialisation des travaux publics passe par des hauts rendements, donc par la mécanisation poussée des carrières. Jusqu'au début des années 1950, la croissance des exploitations reste lente et des milliers de petites carrières peu mécanisées se maintiennent, du fait du coût de transport⁷⁹. Les coûts de revient obtenus avec des installations mécanisées restent parfois du même ordre de ceux obtenus par des installations élémentaires où le débitage et le chargement sont réalisés par des tacherons à la main⁸⁰. Le sujet de la mécanisation domine toutes les revues⁸¹. Chaque opération est minutieusement décomposée, de l'abattage au tri des granulats – préconcassage, concassage primaire et secondaire, lavage et dépoussiérage, etc. – et les machines sont toutes analysées en lien avec les problèmes de la régularité et le classement des matériaux. L'obligation d'exploiter des gisements proches des lieux d'activité pour préparer les énormes quantités de matériaux conduit à la mise au point et au développement de centrales mobiles de concassage-triage, qui deviennent des engins clés des carrières⁸².

Les rendements moyens, qui cachent des disparités très prononcées, vont connaître une forte hausse à partir des années 1960⁸³. Le secteur des matériaux de construction présente une progression de la productivité “nettement supérieure à la normale” et est celui où le rythme moyen de substitution du capital au travail est le plus élevé pour la période 1959-1974⁸⁴.

79. En 1947, Coquand, futur DR, souhaite favoriser l'exploitation de carrières locales – tout en maintenant quelques grandes carrières. Selon lui, même si la production est plus onéreuse que dans de grandes exploitations bénéficiant des rendements d'échelles, la combinaison des faibles frais de transport et d'une légère mécanisation les rendra compétitives et pertinentes (*RGRA*, oct. 1947, p. 9-10).

80. *Routes et Carrières* (mars 1968).

81. En particulier la revue *L'Équipement Mécanique* (sept. 1951, fév. 1953, juil. 1954). Il nous faut mentionner un article de la *RGRA* (déc. 1950, p. 145-148) qui détonne dans les envolées lyriques, très présentes dans les revues des administrations et des ingénieurs, sur les “progrès” des machines. D'abord, il insiste sur le fait que les rendements sont difficiles à calculer car les comparaisons entre différents matériaux sont impossibles – on ne produit, par exemple, pas de gravillon en 1900. Ensuite, il rappelle que s'il y a économie de main-d'œuvre, elle n'est pas si importante du fait de celle nécessaire pour produire les machines et pièces de rechange (fondeurs, mécaniciens, électriciens). Il ajoute que le coût de la mécanisation – explosifs, énergie, pièces de rechange, lubrifiants, et l'amortissement des installations et outils – est très important. Enfin, et c'est là le plus intéressant, il calcule les rendements de 1900 et 1950 en tenant compte de l'énergie utilisée pour relativiser les hausses. Il dénonce le “torrent” d'énergie mécanique qui est de plus en plus prélevée sur “des sources naturelles”, avec un gaspillage énorme. Sa conclusion est ironique : “les philosophes doivent préciser dans quelle mesure il s'agit d'un progrès”.

82. La question de la pertinence d'installations fixe, semi-fixes ou mobiles destinées à la préparation des matériaux va occuper les revues pendant 25 ans au moins : des dizaines d'articles leur sont dédiés dans *L'Équipement Mécanique* (mais aussi *Travaux* ou le *Bull. liaison*) entre 1947 et 1978. L'apparition de la rubrique “postes mobiles de concassage” dans les statistiques de production, et d'un syndicat national au début des années 1960 sont des signes non équivoques. De novembre 1972 à mars 1978, la revue *Chantiers de France* publie une série de 23 articles détaillés sur l'équipement des carrières et les installations de traitement des granulats. L'automatisation des installations de concassage-criblage continuera à intéresser les revues en particulier pour les bétons de démolition (chap. 5).

83. En 1946, il faut 1h15 pour produire une tonne de sable criblé et le premier Plan de modernisation fixe comme objectif de baisser ce temps, grâce à des nouvelles installations, à 40 minutes. Au début des années 1950, l'extraction des petites installations avoisinent les 60-80 m³ par jour, les moyennes de 150 à 300 m³ et les grandes de 400 à 3 000 m³. La productivité des granulats calcaires triple entre 1965 et 1975 (*RGRA*, déc. 1977). Elle augmente de 7,7 t/h en 1976 et 14,4 t/h au début des années 1990 (*Annales des Mines*, fév. 1993).

84. B. Billaudot, « Accumulation, croissance et emploi dans l'industrie française : rétrospective 1959-1974 », *Economie et statistique* 127.1 (1980), p. 83-99.

Comme pour les terrassements (chap. 2), un plateau est atteint (3 à 4 kt/jour avec 30 travailleurs pour une grande carrière) au tournant des années 1970⁸⁵. La lente mécanisation des carrières réduit sensiblement une main-d'œuvre réputée pour sa participation aux grèves⁸⁶, dont le profil et la qualification changent (de tailleur ou casseur à conducteur d'engins). Les effectifs baissent tendanciellement⁸⁷ : de 57 000 en 1950 à 15 000 en 2012⁸⁸.

Verrou du capital fixe

Avec les grands travaux routiers des années 1960, les carriers vont systématiquement investir dans un équipement lourd dont le montant atteint, si on inclut le matériel et les terrains nécessaires à l'exploitation d'une carrière⁸⁹, deux à trois fois le chiffre d'affaires annuel d'une entreprise (ratio comparable aux industries lourdes comme la sidérurgie par exemple). Une "production économique" est établie à 100 kt à 200 kt/an : en dessous de ce seuil, le prix de revient augmente car les dépenses sont les mêmes et la mécanisation intégrale n'est pas jugée intéressante⁹⁰. Cette substitution du travail par du capital n'est pas sans effet. Un reflet de la mécanisation par des lourds investissements se lit dans le phénomène de concentration tendancielle⁹¹, et la place grandissante de grands groupes⁹² et des multinationales du BTP⁹³. Comme la valeur du granulat est faible (autour de 10 €/t aujourd'hui), surtout rapportée au capital fixe, le carrier aura un intérêt presque vital, pour amortir le plus rapidement un matériel coûteux qui s'use vite⁹⁴, à des productions importantes. De plus, ces niveaux d'investissements ne sont justifiés que si l'extraction se poursuit pendant dix à trente

85. *Chantiers de France* (juil.-août 1969, nov.-déc. 1969).

86. J. Masse, « Les grèves des mineurs et carriers du Var de 1871 à 1921 », *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 79.82 (1967), p. 195-218.

87. Sauf entre 1961 à 1969 : hausse de 4 % de main-d'œuvre (alors que l'extraction totale est multipliée par 2,5). Une "libre opinion" dans *Routes et Carrières* (mars 1968) évoque alors une pénurie de main d'œuvre.

88. UNICEM, *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2012*, Enquête de branches, 2013.

89. En IDF, 300 carrières possèdent un capital immobilisé en terrains de carrières qui représente "plusieurs milliards de francs." (*PCM*, juin-juil. 1982, p. 34).

90. *L'Équipement Mécanique* (juil. 1954).

91. Le plus gros producteur de roche meuble est responsable de 3,5 %, et les 150 plus gros producteurs de 60 %, du total de l'extraction en 1970 (*Annales des Mines*, nov. 1971, p. 135) ; dix ans plus tard, 8,4 % des entreprises assurent 54 % de l'extraction (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 30).

92. Selon son site internet (consulté le 14/11/2021), la seule entreprise *Pigeon* produit 11 Mt de granulat (soit le total du pays en 1900) sur 50 sites en 2020 pour 122 M€ de chiffre d'affaire et 410 employés.

93. Les plus importants producteurs de granulat sont pour la plupart affiliés à des cimentiers ou entreprises du BTP : le Groupe des Sablières Modernes (*Heidelberg Cement Group*) avec une production de 30 Mt ou le groupe *Lafarge* avec sa division granulats qui produit 23,8 Mt (*Annales des Mines*, fév. 1993).

94. Par exemple : l'extraction à la ballastière de Souppes, qui sert les chantiers du tronçon Nemours-Auxerre de l'autoroute A6, provoque l'usure des concasseurs giratoires, lesquels doivent être réglés deux fois par jour, l'ensemble tournant devant être changé tous les 15 jours (*RGRA*, jan. 1967, p. 74). Comme pour les engins de terrassement, la manutention de ce capital fixe prend une place de plus en plus importante dans les carrières (*RGRA*, déc. 1950). "Ce matériel coûteux doit être amorti rapidement, car il s'use très vite, surtout dans les organes tournants, constamment exposés à une poussière, le plus souvent siliceuse, qui ronge le fer. Les machines ne rendent de services réels que dans les grandes carrières où l'on exploite chaque jour pendant toute l'année, de fortes masses de matériaux qui s'expédient au loin et se débitent sur une vaste échelle." : C.-L. Durand-Claye, *Cours de routes : professé à l'École des ponts et chaussées : dispositions d'une route, étude et rédaction des projets, construction, entretien*, 2ème édition, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1895, p. 343.

ans⁹⁵. Les contraintes propres au capital fixe⁹⁶ viennent soutenir les exigences des carriers pour des chantiers importants et longs, ainsi qu'une politique en matière d'ouverture, de renouvellement ou d'extension des carrières qui soit stable et prévisible⁹⁷.

Des milliers de monopoles naturels

Si le granulat voyage peu, si les chantiers des grandes infrastructures de transport exigent de nouvelles exploitations, alors on peut penser que l'extractivisme ordinaire se caractérise par un nombre croissant de carrières en France. C'est le contraire qui se produit, pour une large partie du fait de ces investissements en matériels. De plus de 24 000 carrières dans l'entre-deux-guerres, le total baisse jusqu'à 4 000 en 2013⁹⁸. Si les rendements par carrière sont sans commune mesure, c'est aussi que leurs superficies augmentent sensiblement après 1945. La notion de "taille minimale d'un gisement" apparaît pour décrire celle qui permet d'amortir, dans des conditions normales, les travaux préliminaires et les installations. Les écarts sont importants entre roche meuble et roche dure – les gisements alluvionnaires sont en général beaucoup moins épais (soit 5 à 8 t/m²), que ceux de roches massives (qui dépassent parfois 50 t/m²). La superficie moyenne d'une carrière en eau est de 30 ha à partir des années 1960 – certaines dépassent les 50 ha et la moyenne générale est de 13 ha⁹⁹.

Le marché du granulat est local et l'industrie est à rendements croissants : il faut de gros investissements et le coût marginal de production est faible. Une carrière constitue ainsi, pour l'économiste, un monopole naturel sur une certaine aire géographique – ceci signifie qu'il est moins coûteux pour produire une quantité donnée d'avoir une seule entreprise que plusieurs. Ceci s'observe historiquement (au-delà de la géologie qui a longtemps arrimé les carrières aux rivières). Les carrières sont relativement indépendantes les unes des autres, de sorte que des entreprises de taille très différente peuvent coexister dans une même région : au contraire de l'industrie cimentière, qui est devenu un oligopole de cinq multinationales, l'extractivisme est le fait de milliers de PME¹⁰⁰.

95. Voir : *Routes et Carrières* (mars 1968) ; *L'Équipement Mécanique* (mai 1980) ; *Annales des Mines* (mars-avr. 1981) ; *Bull. AIGI* (1984, p. 85-88) ; *RGRA* (nov. 1993) ; Arquié, *op. cit.* ; Y. Berton, *Guide de prospection des matériaux de carrière*, BRGM, 1983.

96. Le capital fixe que représentent les installations perd de sa valeur s'il n'est pas utilisé. Les machines vieillissent par usure, mais aussi parce qu'elles se démodent techniquement. Une étude réalisée avec la SNCF et une dizaine de carrières, aboutit à déterminer la durée moyenne du matériel à 14,5 années. Les carriers insistent sur la grande spécificité des outils de production par rapport à une catégorie de produits et une zone géographique, et de la difficulté d'opérer la conversion vers d'autres matériaux et d'autres zones (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 57).

97. *Mines et Carrières* (nov. 1985).

98. Les carrières autorisées atteignent 12 500, dont la moitié pour les granulats alluvionnaires, en 1980, 9 000 en 1993, dont 7 000 de granulat, et 4 000, dont 3 200 produisent du granulat, en 2013. Voir : INSEE, *Annuaire statistique de la France*, Institut national de la statistique et des études économiques, 1959, partie rétrospective française ; *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 27-28) ; Barthélémy, *op. cit.*

99. IFEN, *L'environnement en France*, *op. cit.*

100. Le nombre total des entreprises baisse à 2 300 en 1991 ; les cinquante plus grosses ne représentent que 2,5 % du nombre des entreprises, mais extraient 29 % de la production totale ; 450 carrières représentent 75 %, et 1 200 entreprises moins de 10 %, de la production totale. Depuis quinze ans, la moitié des entreprises du secteur produisent moins de 100 kt/an ; 5 % des entreprises produisent plus de 1 Mt/an : Barthélémy, *op. cit.* ; UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2008*, Union Nationale des Producteurs de Granulats, 2009 ; *idem*, *L'industrie française des granulats. Données 2018*, *op. cit.*

1.2.5 Rupture radicale dans l’histoire des carrières (concassage)

Que des carrières jouent un rôle clé dans la coproduction d’espaces est tautologique : les 105 685 carrières (de tous types) recensées dans le fichier national reflètent en quelque sorte la trace en creux de la production d’espace depuis plusieurs siècles en France métropolitaine¹⁰¹. Pour compléter la démonstration, il est indispensable d’évoquer brièvement la radicalité que constitue cet extractivisme dans l’histoire des carrières. Si des extractivismes ponctuels et locaux ont existé, comme pour produire Paris au XIXe¹⁰², le simple fait qu’il n’existe pas de statistiques nationales des productions des carrières avant 1887, au contraire de toutes les matières importantes, suggère l’absence d’extractivisme à grande échelle¹⁰³. On ne peut passer outre la rupture quantitative, qui se constate dans toutes les dimensions : très forte hausse des cadences¹⁰⁴ ; baisse du nombre de carrières, qui étaient encore 40 000 entre 1887 et 1913¹⁰⁵ ; hausse des surfaces¹⁰⁶ ; baisse de la main-d’œuvre¹⁰⁷ ; hausse des distances de transport, sauf cas exceptionnel, comme la présence d’une voie ferrée ou pour des matériaux de grande valeur comme le marbre.

Ces écarts quantitatifs doivent être relativisés : ce ne sont pas les mêmes matières extraites, de sorte que les comparaisons ne sont pas entièrement satisfaisantes. La transforma-

101. Fichier établi par l’École des Mines d’Alès. Parmi elles, 101 409 sont abandonnées. Voir : S. Colin et M. Urvois, *Bilan d’activité 2013 de la base de données et du site internet « Carrières et matériaux »*, Rapport final n°RP-63268-FR, BRGM, février 2014.

102. Il est possible de reconstituer les quantités (pierre de taille, moellons, plâtre, argile, briques) depuis au moins 1847. Un ingénieur évoque un groupe de 346 carrières qui entourent Paris et s’inquiète, déjà, de pénuries : “les matériaux durs commencent à y être rares, et on peut prévoir qu’avant peu d’années ces carrières, qui autrefois ont fourni tant de belle et excellente pierre, ne seront plus d’aucune ressource pour les travaux publics, et ne produiront plus que des lambourdes et du moellon pour les constructions particulières.” (*Annales PC*, 1855, p. 199).

103. Alors que les matériaux classés comme “mines” appartiennent à l’État, les matériaux de carrière (non concessibles) appartiennent au propriétaire du sol et sont seulement soumises à la surveillance de l’autorité. Sont donc exclus de la catégorie des matériaux de carrière tous les minerais métalliques et les combustibles fossiles (tourbe exceptée) ainsi que de nombreux sels minéraux. Les exploitants n’ont pas l’obligation comme les concessionnaires de mines, de faire connaître aux ingénieurs de l’État ni la quantité, ni la valeur des matières extraites. “Ce n’est donc qu’avec la plus grande difficulté que l’Administration peut obtenir, pour quelques années spéciales, et surtout dans le voisinage des grands centres de population, où l’introduction des matériaux de construction est assujettie à un droit d’octroi, des renseignements assez précis sur l’exploitation des carrières” : Statistique de l’industrie minière, *Résumé des travaux statistiques de l’administration des Mines en 1847, 1848, 1849, 1850, 1851 et 1852*, Direction des Mines, octobre 1854, p. LI.

104. Dans la région de Lorient, pour une grande carrière du milieu du XIXe, il faut 20 à 30 ouvriers pour extraire 1 200 m³ par an ; 200 ouvriers pour 30 kt en 1927. Une très grande carrière mécanisée atteint 20 kt/an en 1886 (*Le Génie Civil*, déc. 1886, p. 108) ; L. Chauris, « Les anciennes carrières de la région lorientaise (Morbihan) », *Annales de Bretagne et des pays de l’Ouest* 120 (2013), p. 11-36.

105. Un petit village compte seize déclarations d’ouverture en 1864 – année où un décret oblige chaque commune à déclarer ses carrières en exploitation : Reverchon et Gaudin, *op. cit.*, p. 36.

106. Une grande carrière du XIXe siècle ne dépasse pas 2 à 5 ha contre une moyenne générale de 13 ha un siècle plus tard : Barthélémy, *op. cit.*

107. Le total passe de 111 000 carriers en 1890 à 81 000 en 1920. Pour la période 1877-1886, sur 10 000 ouvriers, il en a été tué annuellement 18 dans les carrières souterraines, 16 dans les mines de charbon, 9 dans les carrières à ciel ouvert : Statistique de l’industrie minière, *Statistique de l’industrie minière et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l’année 1920*, Direction des Mines, 1922.

tion qualitative peut nous renseigner. La définition légale d'une carrière depuis 1810¹⁰⁸ et les statistiques nous révèlent une immense diversité, perceptible tant dans les unités¹⁰⁹ que dans les inventaires desquels le sable est largement absent¹¹⁰. Le fait même que la matière reine des carrières soit le granulat, et que de 1949 à 1993, les plus grandes carrières du pays extraient du sable en rivière, est la rupture la plus radicale au regard de l'histoire des carrières. Non seulement ce n'était pas une matière importante à l'échelle nationale, mais ce n'était même pas le cas pour les carriers. L'extraction d'alluvions dans le fond de vallée en milieu rural est ancienne¹¹¹, mais elle est longtemps restée très artisanale et ne marquait donc que très peu le paysage et l'hydrosystème fluvial – "elles pouvaient être alors assimilées à la récolte d'une production de graviers, annuellement renouvelée¹¹²". Les quantités extraites annuellement à la fin du XIXe et jusqu'aux années 1920, croissent mais restent modestes¹¹³. Jusqu'en 1970, ces espaces sont d'ailleurs exclus de la définition de "carrières" par la profession qui les nomme "sablères", "gravières" ou "ballastières".

La possibilité du concassage et du broyage, donc des granulats et du ciment, permet pour partie la forte mécanisation – qui est encore aujourd'hui bien plus difficile avec d'autres roches¹¹⁴. Au-delà des productions urbaines, la construction de chemins de fer et de routes sont responsables d'un premier extractivisme national systématique, mais de moindre inten-

108. La loi du 21 avril 1810 sur les mines, minières et carrières, qui reste la référence jusqu'en 1970, définit les carrières en énumérant les matériaux (ardoises, grès, pierres à bâtir, marbres, granits, pierres à chaux, pierres à plâtre, pozzolanes, trass, basaltes, laves, marnes, craies, pierre à fusil, argiles, kaolin, etc.).

109. Au XIXe, les unités sont rarement exprimées en tonnes, mais plutôt en mètre cube (pierre de taille, sables), million d'hectolitre (plâtre), par milliers (ardoises), millions (briques), etc.

110. De longues listes très détaillées de carrières parsèment les ouvrages de travaux publics : de Rondelet (architecte du Panthéon) aux mille carrières de pierre de taille inventoriées par le Ministère des Travaux Publics. Debaube, par exemple, consacre à peine 5 pages, sur 700, au sable. S'il est question de sable dans les traités sur le mortier et béton, les carrières associées ne sont jamais étudiées : A. Raucourt de Charleville, *Traité sur l'art de faire de bons mortiers*, 2ème édition, Librairie scientifique et industrielle, Paris, De Malher et Cie, 1828 ; J. Claudel et L. Laroque, *Pratique de l'art de construire : maçonnerie, terrasse et plâtrerie*, Deuxième édition, Paris, Dalmont et Dunod, 1859 ; A. Debaube, *Procédés et matériaux de construction. Tome troisième : matériaux de construction*, t. 4ème partie, Paris, Dunod, 1886 ; Ministère des Travaux Publics, *Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889*, Recherches statistiques et expériences sur les matériaux de construction, Paris, Baudry et Cie, 1890 ; E. Leduc, *Chaux et ciments*, Encyclopédie Industrielle, Paris, J.-B. Baillièrre et fils, 1902.

111. Généralement, les sables de rivières sont préférés à ceux de carrières et les sables anguleux aux sables à grains ronds et polis : Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 108-109.

112. Maire et Lasserre, *op. cit.*, p. 54.

113. Pour la Moselle l'extraction est encouragée par le Service de la Navigation, en charge de l'entretien du cours d'eau. Autre exemple : entre 1893 et 1923 environ 55 kt de matériaux ont été prélevé entre Toulouse et Grenade. Voir : Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.* ; Jantzi et al., « Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne », *op. cit.*, p. 87.

114. On extrait à peine 123 000 m³ de pierre de taille en 1949 contre 1,3 Mm³ en 1900. La plupart des carrières, comme les pavés en grès étudiés par Raulin, ne peuvent connaître une production mécanisée. A la fin du XIXe siècle, certains pensent que l'exploitation de pierre de taille va s'améliorer du fait des économies réalisées grâce au perfectionnement des appareils de chantier et des moyens de transport. A la Libération, un article défend l'utilisation de la pierre dans la reconstruction du pays et comme solution à la crise du logement. L'auteur soutient que la "fin du travail manuel", et la production annuelle de 20 000 m³, rend cette option possible. Voir : *L'Équipement Mécanique* (juil. 1949) ; UNICEM (1950) ; Debaube, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle*, *op. cit.*, p. 373.

sité¹¹⁵. De débris tirés de l'extraction de la pierre de taille, les graviers gagnent alors en importance – la “Fédération nationale des producteurs de matériaux de viabilité” est seulement créée en 1885¹¹⁶. Cette première industrialisation des carrières est d'ailleurs synonyme de hausse des effectifs¹¹⁷. Avec le ballast et le macadam, la phase de concassage de grandes masses en petits cailloux devient l'activité centrale des carrières¹¹⁸. Fin XIXe, le cassage est reconnu comme une pratique essentielle et les engins concasseurs sont déjà vantés pour leur utilité¹¹⁹ : en 1900, il est extrait 4,6 Mt de sables et graviers, 10 Mt de pierres à bâtir, 4,8 Mt d'argile pour les briques et tuiles, et déjà 12,2 Mt de matériaux pour ballast et empièvements. Jusque dans les années 1950, les catégories statistiques rattachent les produits des carrières avec des usages principaux (matériaux de construction, de pavage, pour l'industrie, l'agriculture, etc.), alors que les produits qui figurent dans les tableaux seront définis par un diamètre : les carriers produisent d'abord une dimension, qui sert de façon indistincte bâtiment ou génie civil¹²⁰, et non plus un matériau de construction¹²¹. Cette nouveauté est associée à une singularité, depuis 1980 : le fait que la majorité des produits de carrières soit au service du génie civil, et non du bâtiment.

Dernier aspect inédit : les techniques dominantes dans la production d'espace après 1945 désolidarisent géologiquement les espaces coproduits, pourtant voisins. En effet, le granulat est extrait pour se mêler aux liants – soit (avec du ciment) en béton, soit (avec divers liants hydrauliques) en sous-couches des routes, soit (avec du bitume) en asphalte – et reste ainsi

115. Selon Ruelle et Evrard, il faut de 1 à 3 m³ de ballast par mètre linéaire selon le type de voie. Si on applique ce rapport aux 70 000 km de voies ferrées construites jusque 1914, on trouve jusque 210 Mm³ de ballast. Nous ne l'étudions pas davantage ici. Voir : *Le Génie Civil* (mai 1888, p. 19) ; *Annales PC* (fév. 1886) ; *Revue générale des chemins de fer* (mai 1882, jan., fév., août 1886) ; *Le Génie Civil* (mai 1888) ; H. Ruelle, *Note relative aux chemins de fer à bon marché et d'intérêt local*, Paris, Dunod, 1868, p. 29 ; A. Evrard, *Les moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics : organisation et matériel*, t. 2, Librairie polytechnique, Paris, J. Baudry, 1874, p. 72.

116. Syndicat qui cesse son activité en 1937 au moment de la création de l'UNICEM.

117. Une première industrialisation a lieu entre 1850 et 1920 : hausse de l'extraction, nombreuses ouvertures de carrières et, pour certaines, exploitation en continu. Voir : Reverchon et Gaudin, *op. cit.*

118. “la caillasse concassée d'un certain type de meulière” à la grosseur de 5 à 6 cm, qui “est très estimée pour l'empierrement de chaussées ; aussi les devis de la ville de Paris prescrivent-ils cette pierre à l'exclusion de toute autre” : Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 22.

119. L'exploitation des carrières par les machines est présentée comme la clé du succès (*Le Génie Civil*, mai 1888, p. 20). Toutefois, les premières concasseuses des années 1880 sont immenses, lourdes, coûteuses, d'un transport difficile. D'après Debauve, pour qui le cassage et le broyage constituent un “travail barbare” qui doit disparaître, le fait qu'elles soient peu répandues tient au fait que les chantiers ne sont pas assez importants : Debauve, *Tome troisième, op. cit.*, p. 160 ; Durand-Claye décrit le cassage comme une opération importante, fatigante et qui demande des soins et de l'intelligence afin de produire des pierres de dimension égale : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 340-341.

120. Jusque dans les années 1950, les matériaux de construction, dédiés aux bâtiments, sont strictement séparés des matériaux de pavage et d'empierrement et on lit encore dans les statistiques, les lignes “gravillons SNCF”, “ballast SNCF”, “gravillons pour routes” ou “macadam”.

121. Auparavant, c'est l'équarissage, le fait de tailler, qui résume l'opération clé d'une carrière. Étymologiquement, carrière vient de *quarriere*, ou *quadraria* en latin médiéval, et *quadrus* signifie “pierre de taille”, ou “(pierre) carrée”. La pierre est toujours considérée comme une matière vivante pour les carriers du XIXe. Les nombreux substantifs qui la désignent comme un corps composent un catalogue anthropomorphique (front de taille, veines, pieds, jambages). On fait “marcher” les blocs, on désigne des pierres “tendres” ou “dures”, et on dit de la pierre qu'elle doit “boire son eau de carrière” avant d'être travaillée. Pour un aperçu de l'écart entre la diversité des pratiques, savoirs et outils engagés dans le travail manuel du tailleur, et l'ensemble de machines qui produit le granulat, voir : Raulin, *op. cit.* ; Reverchon et Gaudin, *op. cit.*

largement invisible dans le bâti. Aucun carrier n'aurait pu envisager sérieusement cette situation au XIXe¹²², alors que les liens étaient plus robustes entre matière extraite et bâti – des cahiers des charges exigeaient parfois des matières selon des provenances spécifiques¹²³.

1.3 L'aménagement en creux sous tension

La production d'espace se caractérise, entre autres, par un extractivisme ordinaire, local, réparti sur tout l'espace métropolitain, constitué d'exploitations toujours plus grandes et équipées, et avec moins de main d'œuvre. Comme d'autres, cet extractivisme ne s'est pas imposé sans embûches. Tous les groupes sociaux affectés par les carrières ont réagi avec la grande accélération extractive des années 1960 (figure 1.1). Les motivations des acteurs divergent selon leur position dans la production d'espace : pour les administrations, la crainte d'un blocage de la production d'espace ; pour les ingénieurs, l'inquiétude tient au problème des gisements alluvionnaires ; pour les carriers, la recherche de nouveaux espaces pour implanter de nouvelles exploitations ; pour des riverains et des associations, les carrières consomment trop d'espace, détruisent les paysages et les milieux ; pour les scientifiques, elles abiment irrémédiablement les écosystèmes. Nous rendons compte de l'accroissement de ces tensions jusqu'aux années 1970, de leur transformation en petites crises, qui n'ont jamais cessé et qui vont contraindre les carriers et administrations à davantage penser la coproduction d'espaces.

1.3.1 Inquiétudes, inventaires et gisements

Le granulat pénètre les politiques d'AT au milieu des années 1960, quand la croissance de la demande est la plus forte. C'est l'administration elle-même, et le Corps des Ponts et Chaussées en particulier, qui va afficher les premiers signes d'inquiétudes pour la région parisienne. Elle entame alors un travail exhaustif d'inventaire et de cartographie des gisements disponibles, des quantités comme des qualités, sur tout le territoire métropolitain. Ce n'est bien sûr pas la première fois que des inventaires sont réalisés par une administration¹²⁴, mais

122. Les sables présents dans les mortiers au XIXe sont utilisés pour faire les joints entre les pierres, qui restent apparentes. Jusqu'aux couleurs des pierres, le bâti rappelait les géologies des carrières locales – même la brique moulée rappelle l'argile locale dont elle est issue. Dans certains cas, des carrières précises se reconnaissaient dans le bâti (celles de Château-Landon dans les bâtiments de Paris) : J.-P. Gély, « Du centre carrier au centre urbain, stratégie d'approvisionnement en pierres d'appareil des chantiers de construction : l'exemple du Bassin parisien », dans : *Construire la ville : histoire urbaine de la pierre à bâtir*, sous la dir. de J. Lorenz, F. Blary et J.-P. Gély, Collection CTHS sciences 14, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2014, p. 67-82.

123. Raulin, *op. cit.*

124. L'intérêt de l'État et des ingénieurs des Ponts et Chaussées pour les carrières est ancien. Déjà dans un mémoire de 1853, Michelot cherche à établir une statistique des carrières de pierre de taille du bassin de Paris. Il juge nécessaire de mettre en place un service de recherches statistiques qui devrait établir une classification des matériaux de construction en tenant compte de toutes leurs propriétés physiques, leur prix de revient et déterminer les localités où des exploitations nouvelles pourraient être établies avantageusement (*Annales PC*, 1855, p. 190). Il crée et dirige le service pour les recherches statistiques relatives aux matériaux de la France au ministère des travaux publics qui collecte de précieux renseignements sur les gisements, les qualités et la résistance de nombreux matériaux (*Les Grandes Industries de France*, 1891). Un Catalogue des échantillons de matériaux de construction, auquel participent Michelot et Durand-Claye, est présenté par le Ministère des Travaux publics à l'Exposition de 1878. Des échantillons de toutes les pierres mentionnées dans

le caractère systématique et la précision des relevés traduisent d'importants changements¹²⁵. Nous allons d'abord présenter la façon dont les premiers plans traitent les granulats pour ensuite rendre compte des méthodes des Ponts et Chaussées. Nous montrons enfin que le mouvement d'inventorisation ne va jamais cesser¹²⁶ et s'étendre vers des espaces toujours plus variés (déchets, fonds marins).

Plans et prospectives – les carrières abstraites

Au sortir de la Seconde Guerre mondiale, une inquiétude existe du fait des besoins imminents en matériaux de construction¹²⁷. Les ingénieurs se demandent s'il faut favoriser la dissémination de nombreuses carrières locales, ou bien n'équiper que quelques grosses carrières avec des prévisions de gros rendements¹²⁸. Le Plan Monnet¹²⁹ – qui s'intéresse déjà, du fait du manque de moyens, longuement à la question du transport des matériaux – planifie une hausse sensible de l'extraction en même temps qu'il prévoit des besoins de sable et gravier de 420 Mt pour dix ans. Les résultats, en 1950, seront bien en-deçà des prévisions¹³⁰. Les productions réelles et espérées figurent déjà dans l'AT, mais sous formes d'indicateurs. Les carrières restent des espaces cachés.

le répertoire sont alors exposés dans les galeries de l'École des Ponts et Chaussées. Un répertoire de plus de mille carrières de pierre de taille et moellon est publié par le Ministère des Travaux Publics en 1890. Voir : Claudel et Laroque, *op. cit.* ; Debaue, *Tome troisième, op. cit.* ; Ministère des Travaux Publics, *op. cit.*

125. Cette entreprise d'inventorisation par peur d'épuisement de la ressource est typique du Capitalocène (rapport de la commission Paley sur les ressources naturelles, pic Hubbert, rapport Meadows, etc.).

126. Le LRPC de Rouen établit un premier fichier "Carrières" dans les années 1960, qui synthétise les données relatives à une centaine d'exploitations. Un fichier national des carrières, établi notamment à partir des descriptions de la revue *Mines et Carrières*, est hébergé par l'École des Mines d'Alès et mis à jour jusqu'en 1998 par les différentes Directions régionales de l'industrie, de la recherche et de l'environnement. Le BRGM assure désormais cette mission d'inventaire des carrières (actives ou non) : Colin et Urvois, *op. cit.*

127. Les articles titrent sur "le rôle des carrières dans la reconstruction du réseau routier" (*Travaux*, mars 1946), ou "les économies de matière" (*RGRA*, avr. 1947).

128. Dans la seconde option, les transports à grande distance consommeront plus de combustible, mais permettront des économies de main d'œuvre et d'énergie à la production (*RGRA*, avr. 1947, p. 21).

129. Le premier plan Monnet (1946) est organisé autour de 19 commissions de modernisation. Organisées par programme prioritaire, celles-ci rassemblent des haut fonctionnaires, des représentants du patronat et des représentants syndicaux et ont pour but d'élaborer des rapports thématiques servant de fondement à la rédaction des plans : P. Mioche, *Le Plan Monnet : Genèse et Élaboration 1941-1947*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1987.

130. Pour être précis : 24,6 Mt pour les roches meubles (contre 42 Mt attendus) et 18,1 Mt pour les roches dures (contre 25 Mt attendus). Les écarts similaires sont constatés pour les briques et tuiles (prévision de 8,7 Mt ; résultat de 4 Mt) et la pierre de taille et moellon (prévision de 14 Mt ; résultat de 4,5 Mt).

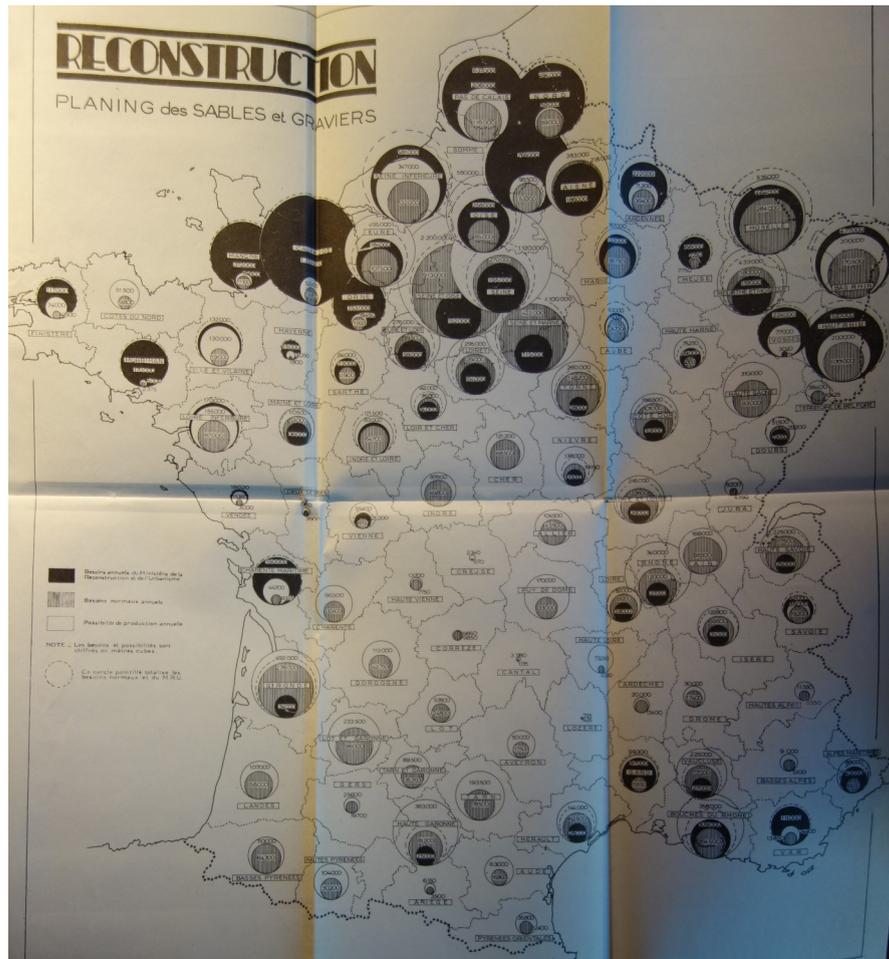


FIGURE 1.4 – Carte présentée dans le Premier rapport de la Commission des matériaux de construction du Premier Plan¹³². Les besoins, en particulier ceux du Ministère de la Reconstruction et de l'Urbanisme, et capacités de production sont présentés par département.

Le Troisième Plan exprime une première crainte sur la reconstitution des gisements de sable et prône la définition dans les projets d'aménagement des zones réservées à l'exploitation des carrières ainsi que l'expropriation en cas "d'opposition non justifiée de certains propriétaires à l'exploitation de gisements de sable" – révélant par-là l'existence de telles oppositions. Le point le plus brûlant concerne la région parisienne, où "l'éloignement progressif des zones encore exploitables rend indispensable l'amélioration de la voie d'eau afin de compenser au moins partiellement la hausse du coût de transport¹³³". L'inquiétude, en particulier sur les coûts de transport, s'accroît avec l'extraction qui connaît une inflexion marquée au début des années 1960. Ainsi, les prévisions pour le sable et gravier du IVE Plan, une hausse de 71,6 Mt en 1961 à 88,75 Mt en 1965, sont largement surpassées : en 1965, l'extraction dépasse les 125 Mt (plus que le charbon et le minerai de fer réunis). Des études de prospective, avec 1985 pour horizon, viennent alors s'ajouter aux Plans. Celles-ci sont notamment réalisées par le "Bureau d'informations et de prévisions économiques" (BIPE dans

132. Carte mobile dans : Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Premier rapport de la Commission de Modernisation des Matériaux de construction*, Paris, octobre 1946.

133. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Troisième Plan de Modernisation et d'Équipement (1958-1961)*, Paris, 1960, p. 152.

la suite¹³⁴) à la demande du Service des Affaires Économiques et Internationales (SAEI) du ministère de l'Équipement et du Logement. Ces analyses complètent les Plans avec, pour différents départements, les flux d'approvisionnements, la structure des transports et de leurs coûts. La nouveauté du "Comité des matériaux et produits pour la construction" chargé du VIe Plan, alors que la progression entre 1965 et 1969 est de 10 % par an (figure 1.1), tient à l'ajout aux problèmes d'approvisionnement, de recensement et de protection de gisements exploitables, des "problèmes liés à la protection de l'environnement"¹³⁵.

Inventaires des gisements et politique des flux de matières

Au début des années 1960, diverses institutions en charge de l'AT (ministère de l'Équipement, SETRA, Direction des Routes) commandent à des organismes, disposant de personnels et de moyens importants (Ponts et Chaussées, BRGM), des bilans précis des gisements de chaque entité territoriale. La planification par les flux, déjà présente pour les matériaux et les flux de transport dans les rapports du BIPE¹³⁶, intègre la dimension qualitative et géologique. L'activité des ingénieurs des Ponts et Chaussées illustre le mouvement à l'œuvre. Bien que spécialistes des granulats en technique routière, ils restent relativement indifférents aux carrières jusqu'aux premiers grands chantiers routiers des années 1960 et le schéma directeur d'aménagement et d'urbanisme de la région parisienne de 1965 (qui prévoit "villes nouvelles" et infrastructures de transport). Lors d'une journée de l'Association Technique de la Route en novembre 1964, ils débattent pour la première fois du problème de l'approvisionnement en matériaux de la région parisienne avec le Syndicat professionnel régional de l'industrie routière et des syndicats de carriers. Les discussions révèlent les inquiétudes partagées des ingénieurs, administrations des routes et entreprises des matériaux de construction : si la région reste très riche en granulat alluvionnaire, les distances de transport augmentent, ce qui a un impact sur les prix et temps de livraison, et les pénuries semblent inéluctables puisque les gisements, surtout ceux de la Seine, s'épuisent¹³⁷. Pour le seul district de Paris, une étude de 1965 prévoit une hausse de la consommation de sables et graviers de 20,3 Mt en 1963 à 38,5 Mt en 1985¹³⁸. Les alarmes se multiplient : en mai 1967, le principal mensuel de la construction, *Le bâtiment*, évoque l'épuisement des ressources en région parisienne à l'hor-

134. Bureau créé en 1958 par le directeur général de la Caisse des Dépôts et Consignations, et le directeur du Service des études économiques et financières au ministère des Finances.

135. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Comité des matériaux et produits pour la construction chargé du VIe Plan de Développement Économique et Social (1971-1975)*, Paris, 1970.

136. Ce bureau réalise des prévisions en accord avec les horizons des Plans : BIPE, *Analyse des consommations de la branche bâtiment et génie civil. La consommation de granulats*, Bureau d'information et de prévision économique, octobre 1965 ; BIPE, *Analyse des consommations de la branche bâtiment et génie civil - La consommation de granulats - Le marché national pour la période 1963-1966 - Essai d'approche du marché régional pour les années 1963 à 1965*, octobre 1966 ; BIPE, *Les flux de transport de granulats en 1965*, décembre 1967 ; *idem*, *La structure des transports de granulats en 1985*, *op. cit.* ; BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome I*, décembre 1969 ; BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome II*, février 1970.

137. *RGRA* (fév. 1965).

138. L. Primel, *Recherche sur l'évolution des propriétés des matériaux alluvionnaires dans un bassin et mise en évidence de quelques caractéristiques générales*, Rapport de recherche 1, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, janvier 1969, p. 10.

zon 1990 ; en 1970, la prévision établit une fourchette des besoins de 79,3 à 84,7 Mt¹³⁹. La panique devient nationale puisqu'il est prévu une consommation de 274 Mt de granulat rien que pour les bétons en 1985 (il faut ajouter 107,2 Mt pour les routes et 44,2 Mt pour d'autres usages) et des besoins cumulés de 5,9 Gt de granulat entre 1965 et 1985¹⁴⁰ – malgré la nette baisse entre 1981 et 1985, le vrai chiffre sera de 6,5 Gt.

Illustrons le contenu des recherches pour la région parisienne, où des inventaires des gisements locaux sont réalisés dès 1962. Les premières études fournissent la localisation des carrières, des estimations de gisement de la Vallée de la Seine, boucle après boucle, selon un ensemble de contraintes. Les recherches suivantes, parfois réalisées en partenariat avec Syndicat National des exploitants de Sables et Graviers, l'UNPG n'existe pas encore, et de l'arrondissement minéralogique de Paris du ministère de l'Industrie, publient et actualisent ces résultats en ajoutant les affluents de la Seine et d'autres contraintes d'exploitation, et en planifiant les flux de granulat régionaux¹⁴¹. Il s'agit également de cartographier, prélever, sonder, mesurer les indicateurs de qualité, les caractéristiques géotechniques et les possibilités d'utilisation des matériaux. Il est absolument essentiel de relever l'écart avec les plans nationaux successifs cités dans la précédente sous-section : toutes ces études constituent des analyses de flux de matières extrêmement précises¹⁴², qui tiennent compte de contraintes géologiques et spatiales, des transports, de la qualité des gisements, et de leur utilisation possible dans le béton ou les travaux routiers, etc.

139. Dont : 12 Mt pour les logements ; 38,5 Mt pour les bâtiments hors logements ; 22,5 à 26,5 Mt pour les routes. Voir : SAEI, *op. cit.*, p. 69-71.

140. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, *op. cit.*, p. 92.

141. Voir : *Bull. liaison* (juin 1967, p. 90, nov.-déc. 1979) ; UNICEM (oct. 1971, fév. 1972) ; BRGM et CETE, *Inventaire pour les vallées de la Seine*, n°73 SGN 2 58 BSS, BRGM, 1966 ; BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome I*, *op. cit.* ; *idem*, *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome II*, *op. cit.* ; Y. Berton, *Ressources et contraintes d'exploitation des sables et graviers alluvionnaires dans la vallée de l'Eure*, n°73 SGN 279 BSS, BRGM, août 1973 ; SERETE, *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome I - synthèse*, février 1973 ; C. Arnal, *Approvisionnement en granulats de la région parisienne à l'horizon 1985*, n°76 SGN 321 MTX, BRGM, juillet 1976 ; SAEI, *op. cit.* ; LREP, *Guide d'utilisation des sables alluvionnaires de la Région Parisienne*, Laboratoire régional de l'Est Parisien, janvier 1974.

142. Une pratique de représentations par graphiques statistiques propre à ce Corps que l'on peut faire remonter à l'ingénieur Charles-Joseph Minard.

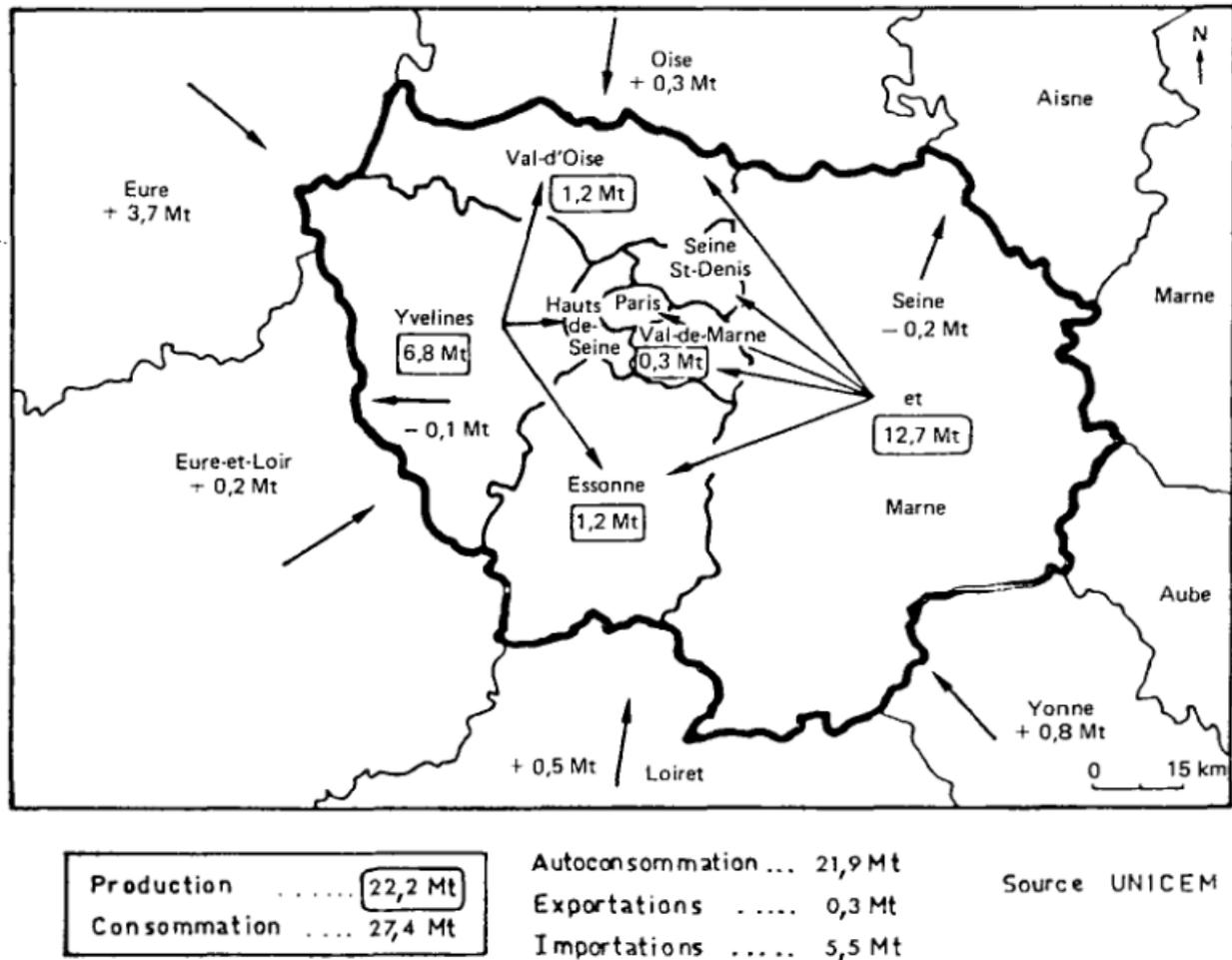


Fig. 2 : Flux des matériaux alluvionnaires en Ile-de-France (Année 1981).

FIGURE 1.5 – Métabolisme de la région IDF pour les matériaux alluvionnaires en 1981¹⁴³.

A partir de 1964, les inventaires de granulat vont être réalisés de façon systématique par les LRPC, à des échelles toujours plus précises¹⁴⁴ (au niveau de chaque bassin, département, région, etc.). Les ingénieurs des Ponts et Chaussées, qui au même moment se spécialisent en géotechnique et mécanique des sols (chap. 3), vont s'avérer d'infatigables prospecteurs, cartographes et géologues. Ils réalisent 106 synthèses régionales en partenariat avec le BRGM pour les granulats alluvionnaires entre 1971 à 1983, ainsi que des inventaires des carrières et des ressources potentielles le long des routes nationales à renforcer¹⁴⁵. Au fil des numéros, les

143. Publié dans : *Bull. liaison* (mai-juin 1983, p. 117) ; *Bull. AIGI* (1984, p. 60) ; *Mines et Carrières* (jan. 1986, p. 53).

144. Lors d'une séance, en janvier 1966, un professeur à l'ENPC et à l'École des Mines fait un exposé sur la "géologie de l'ingénieur" qu'il conclut en affirmant qu'un "inventaire de nos réserves en ces produits minéraux est devenu nécessaire partout où la nature ne procède pas dans des délais acceptables à la reconstitution des gisements" (*Annales ITBTP*, série SF, mars-avr. 1967, p. 424). Comme le soulignent les *Annales des Mines* (nov. 1971), ce ne sont pas tant les chiffres des réserves nationales qui sont primordiales, étant donné le coût de transport, que des données régionales ou locales.

145. Deux types de bilans dominant (*Bull. liaison*, mars-avr. 1972) : bilan des ressources en matériaux alluvionnaires (réserves et caractéristiques) ; synthèse globale d'une région (sans notion de réserves pour les carrières de roches dures tant elles sont abondantes).

cartes et les études toujours plus minutieuses vont se développer dans le *Bulletin de liaison*¹⁴⁶, notamment du fait de la constitution du groupe “Gisements” au sein des laboratoires, qui va développer des règles et édicter des recommandations à respecter pour mener correctement les études. En 1972, ce groupe publie un long article, “Réflexions sur la recherche, l'étude et l'exploitation des gisements de matériaux pierreux destinés à la route”, dans lequel il plaide pour une politique régionale du granulat dont le point de départ est un bilan complet géologique, technique et économique des possibilités actuelles et des ressources¹⁴⁷. L'engouement des Ponts et Chaussées, proportionnel à l'inquiétude de l'administration, s'exprime dans un numéro spécial du *Bulletin de liaison*¹⁴⁸, un ouvrage collectif¹⁴⁹, un colloque national¹⁵⁰ ou lors du “1er Symposium international sur le granulat”, organisé par l'Association Internationale de Géologie de l'ingénieur à Nice en 1984¹⁵¹. Lors de ce dernier, un ingénieur y résume leur obsession pour le granulat : “L'originalité des Laboratoires des Ponts et Chaussées a été de traiter des problèmes liés aux granulats de A à Z, c'est-à-dire depuis les inventaires géologiques des ressources des échelles telles que le 1 : 100000e jusqu'à la mise en œuvre sur chantier, en passant par les études détaillées de gisements (jusqu'au 1 : 500e), les problèmes d'environnement, les essais en laboratoire, les spécifications pour les différentes utilisations et les problèmes liés aux matériels de concassage, criblage, broyage, lavage, etc.¹⁵²”. Cette prise sur les espaces cachés n'est toutefois pas totale. Évoquant les anciennes petites carrières de roches dures de Basse-Normandie, un article s'étonne ainsi “que tant de carrières soient à l'heure actuelle encore exploitées à l'aveuglette, sans qu'aucune étude de gisement n'ait jamais été réalisée”, ou qu'elles exploitent des gisements médiocres ou que leurs connaissances soient mauvaises¹⁵³.

146. Entre 1970 et 1974, ce journal publie des études menées dans le Doubs, la région de Marseille, en Moselle, en Beauce, Haute-Garonne, dans la vallée de l'Yonne, etc.

147. Voir : *Bull. liaison* (nov. 1970, déc. 1970, mars-avr. 1972, juil.-août 1972) ; *Annales ITBTP* (série M, mars 1972) ; *RGRA* (juin 1972).

148. En juin 1977, le *Bull. liaison* publie un numéro spécial de 241 pages “Granulats – ressources et prospection de gisements” qui établit un premier bilan avec des études nationales, régionales et locales.

149. Trente auteurs de l'ENPC et de l'UNPG ou UNICEM, plus de 700 pages, 22 chapitres : Arquié, *op. cit.*

150. Organisé par le BRGM en mai 1981 en Corse, sur la “gestion régionale des sédiments”.

151. Les ingénieurs des Ponts et Chaussées participent activement, au côté du BRGM, de services techniques publics du réseau routier (SETRA, CETE) et du patronat des matériaux de construction (UNICEM). Le colloque réunit 420 participants de 35 pays (le ministre Laurent Fabius aurait dû y participer mais il s'est fait remplacer). Les articles sont publiés intégralement dans le *Bull. AIGI*, et le colloque est abondamment commenté (*RGRA* ; *Bull. liaison*. ; *Mines et Carrières*).

152. *Bull. AIGI* (1984, p. 147).

153. Surtout, précise l'article, que la totalité des exploitations existantes ont été ouvertes à une période où les rythmes d'extraction étaient bien inférieurs et, par conséquent, les risques minimes de “surprise désagréable” survenant à l'avancement (*Bull. liaison*, juin 1977, p. 55).

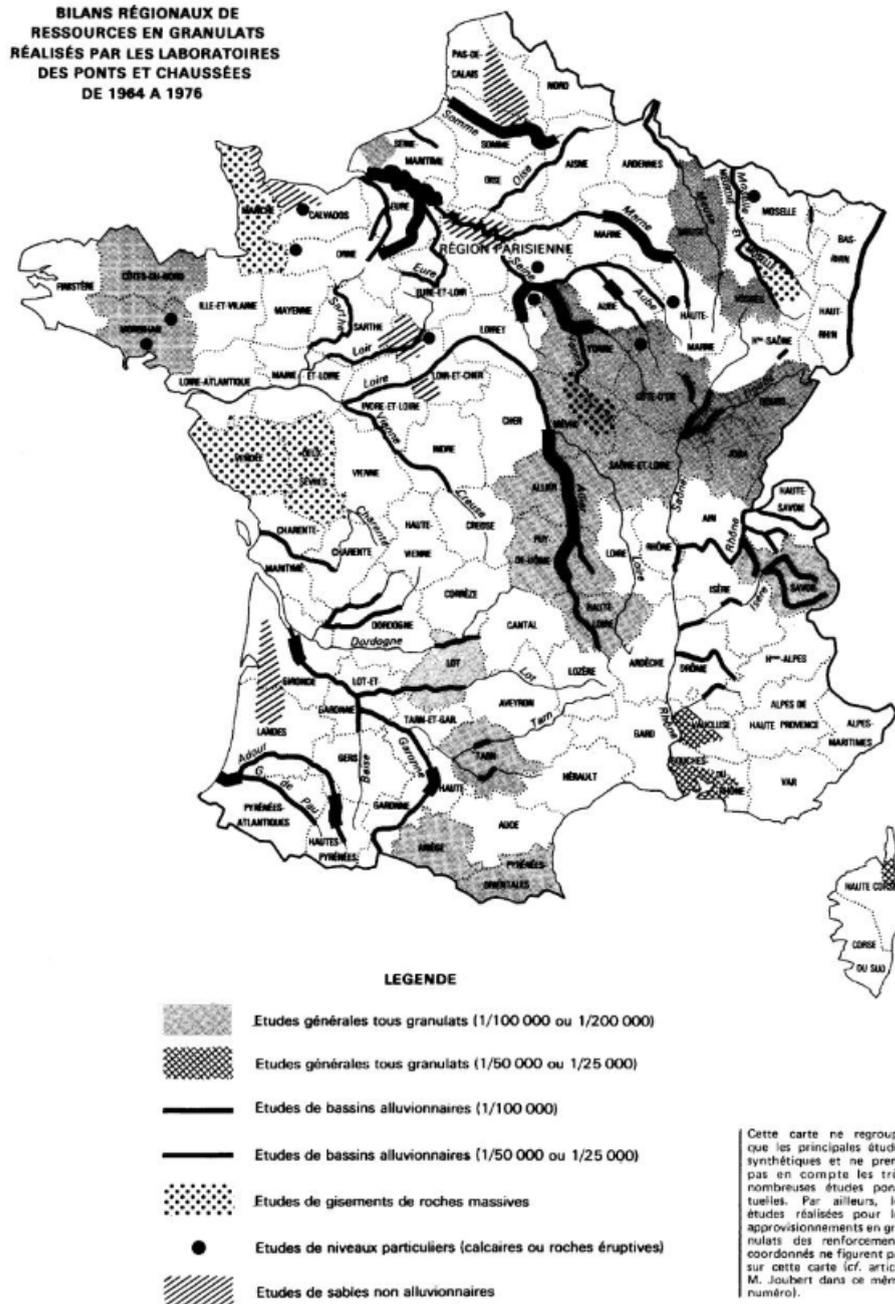


FIGURE 1.6 – Carte des principales études des Ponts et Chaussées de 1964 à 1976¹⁵⁴.

Jusqu'à la mer

Comme les granulats alluvionnaires inquiètent le plus, les rivières sont les milieux les plus finement surveillés. Le même traitement va toutefois s'appliquer à d'autres matières, et d'autres espaces, en particulier dans les régions où les alluvions sont très rares. C'est le cas des granulats calcaires et éruptifs, mais aussi des sables non alluvionnaires (des Landes, de Fontainebleau, de Beauchamp), calcaires lacustres de la région parisienne, roches dures des

154. *Bull. liaison* (juin 1977, p. 13).

Vosges¹⁵⁵, et de très nombreux déchets (chap. 5). C'est, enfin, le cas du granulats marin¹⁵⁶ – constamment présenté, dans les argumentaires qui en font la promotion, comme une alternative, puisqu'il dispose de propriétés équivalentes, pour faire face à la pénurie de granulats alluvionnaire¹⁵⁷. Le modèle à suivre est l'Angleterre, pays qui extrait, depuis 1955, des quantités déjà très importantes en Mer du Nord (jusqu'à 15 % de sa production), en particulier les sables provenant de l'ancien lit de la Tamise¹⁵⁸. La France importe d'ailleurs environ 1 Mt/an de ce granulats qui est traité à Dunkerque¹⁵⁹. L'impulsion pour une nouvelle politique de la mer a lieu en 1967-1968, avec la création du Centre national pour l'exploitation des océans (CNEXO¹⁶⁰) et de nouveaux textes légaux qui permettent d'envisager la mise en exploitation des réserves supposées¹⁶¹. Avant même les premiers inventaires, les perspectives sont jugées prometteuses au regard de la florissante industrie anglaise. Ainsi le BIPE¹⁶² espère trouver des ressources particulièrement importantes pour approvisionner la Région parisienne. Les établissements publics (BRGM et CNEXO) avec l'appui des ministères et des industriels concernés, initient diverses opérations destinées à favoriser la mise en place d'une industrie du granulats marin. Dans la lignée de ce qui se fait sur terre, les premières études abordent aussi bien l'aspect économique que celui de l'évaluation des réserves dans la Manche, à proximité des régions les plus consommatrices (bassin parisien, Nord). A partir de 1969, le CNEXO réalise la reconnaissance de la couverture des sédiments du plateau continental français¹⁶³. En dix ans, 35 campagnes en mer de reconnaissance permettent de reconnaître, sur un espace de 5 000 km², un volume de 33 Gm³ de roche meuble susceptible d'exploitation, sur lesquels 600 Mm³ sont exploitables immédiatement¹⁶⁴. Toutes les zones côtières sont étudiées, avec une réflexion insistante sur l'approvisionnement de la région parisienne et la région Bretagne.

155. Les sables sont considérés dans un numéro spécial en 1968 (*Bull. liaison*, sept. 1968) avec une longue focale sur les sables de la région nord (*Bull. liaison*, mai-juin 1969). Les techniques de traitement au laitier granulé et le recours de plus en plus fréquent à des emprunts dans les travaux de terrassement accroissent l'intérêt pour le sable (chap. 2 et 4).

156. Je déplie cette sous-section dans un chapitre d'ouvrage collectif à venir en 2023.

157. L'extraction de sable de mer avait déjà été envisagée dans : Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Premier rapport de la Commission de Modernisation des Matériaux de construction*, *op. cit.*, p. 159.

158. Voir : *Bull. CNEXO* (mai 1969) ; C. Augris et A. P. Cressard, *Les granulats marins*, Rapports scientifiques et techniques 51, CNEXO, 1984.

159. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 142 ; *L'Équipement Mécanique*, juin-juil. 1978).

160. Le CNEXO, établissement public à caractère industriel et commercial, est créé en 1967 afin de développer, en liaison avec les entreprises publiques et privées, la connaissance des océans et les études de recherche tendant à l'exploitation économique de leurs ressources. Les cinq thèmes qu'il développe sont : exploitation de la matière vivante ; exploitation des matières minérales et fossiles ; reconnaissance et aménagement du plateau continental ; lutte contre la pollution ; action de l'océan sur les conditions météorologiques et climatiques. Sur le contexte géopolitique de sa naissance, voir : B. Martínez-Rius, « *For the Benefit of All Men : Oceanography and Franco-American Scientific Diplomacy in the Cold War, 1958–1970* », *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 43.4 (2020), p. 581-605.

161. La promulgation de la loi sur le plateau continental (loi n°68-1181 du 30 décembre 1968) trace le cadre légal des opérations ayant pour but l'exploitation de substances minérales (hydrocarbures, nodules métalliques et les granulats marins du plateau continental) gisant au fond de la mer.

162. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, *op. cit.*, p. 100.

163. Une "étude géotechnique de sédiments de la Manche" est réalisée en partenariat avec le LRPC de Lille en 1969.

164. Augris et Cressard, *op. cit.*

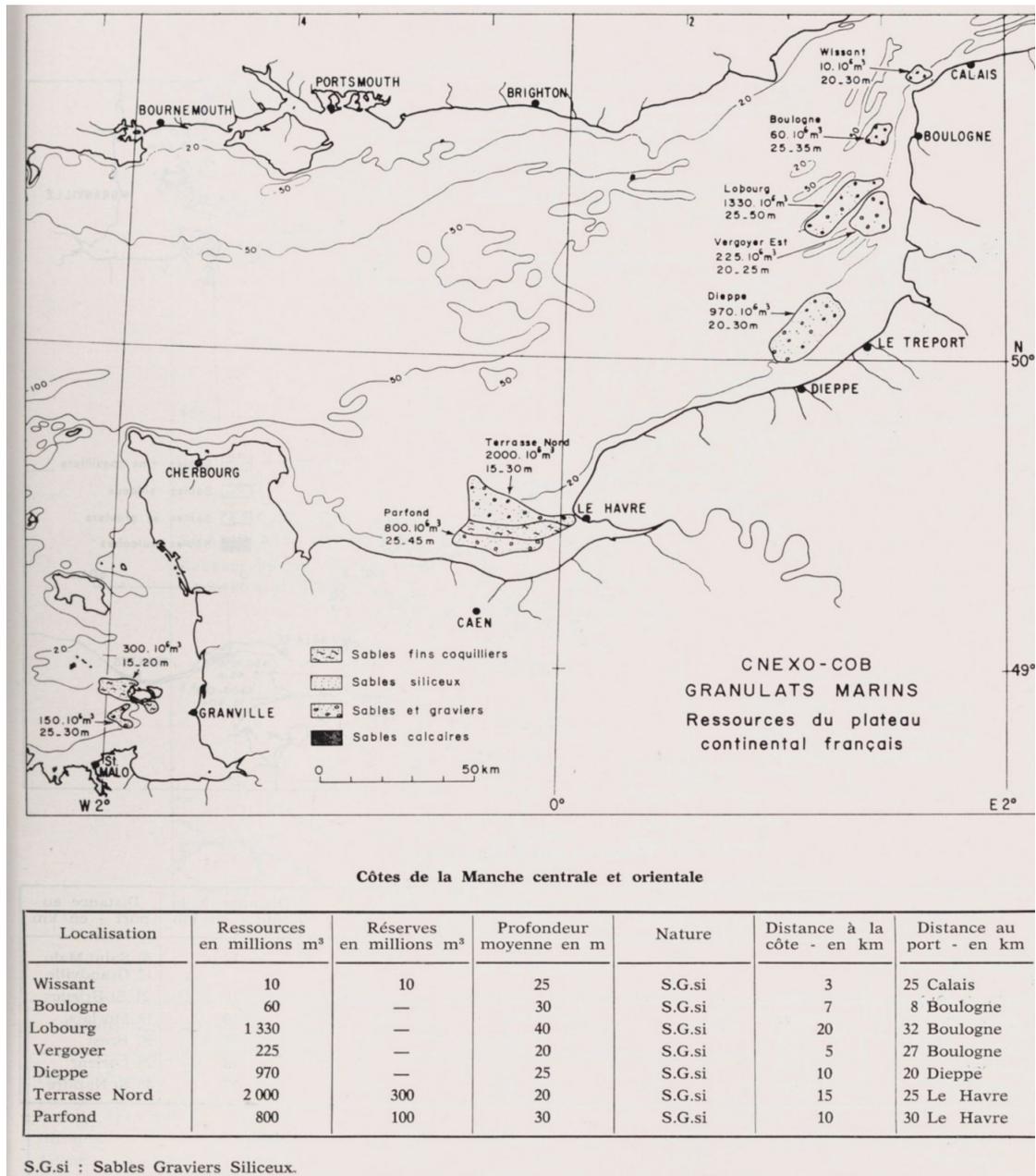


FIGURE 1.7 – Données récoltées par le CNEXO sur les granulats marins dans la Manche¹⁶⁵.

Les premiers rapports sont prométhéens, conformes à la croissance de la fin des années 1960 et du début des années 1970 : des scénarios sont établis pour 1985 avec des productions unitaire de 10 Mt/an, avec un total de 45-50 Mt/an, et la possibilité de fournir 40 % de la consommation de la région parisienne à cette date – avec, en prime, 40 % de granulat de la Loire¹⁶⁶. L'idée est de construire de nouvelles infrastructures portuaires exclusivement pour les sabliers, comme il en existe pour les céréales, le minerai ou le pétrole. Les articles sont

165. *Annales des Mines* (nov.-déc. 1982, p. 79).

166. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, op. cit.; SERETE, *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome II - analyse technico-économique*, PE/61-201, CNEXO, mars 1972; idem, *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome I - synthèse*, op. cit.

légion dans les années 1970 et 1980 : outre les gisements dans d'autres zones (Méditerranée, Aquitaine) et guides de prospection, il est question de leur utilisation, du dessalement, du traitement à terre, des sabliers de haute-mer, et, bien sûr, des distances des gisements aux ports¹⁶⁷. La proposition d'exploiter de manière industrielle le granulat marin figure dans le Septième Plan¹⁶⁸ et, encore en décembre 1977, *Le Granulat* juge que la production à l'horizon 1985, concentrée en Baie de Seine et Manche Orientale, sera de 20 à 30 Mt par an ! L'extraction en Baie de Seine commence en 1971 et alimente Paris en granulat marin pour la première fois en 1974. L'extraction totale atteint rapidement les 4 Mt, dont la moitié en provenance d'exploitations bretonnes de type artisanal¹⁶⁹, puis stagne. Un rapport du BRGM se montre bien plus sceptique dès 1976 et qualifie les prévisions de "trop optimistes"¹⁷⁰. Si l'extraction de granulat marin va bien connaître une hausse, les objectifs ne seront pas atteints à cause principalement du coût de transport¹⁷¹.

1.3.2 Conflits et dégâts dans les espaces cachés

Si les administrations et les ingénieurs sont inquiets pour les gisements, c'est en partie parce que l'extraction de granulat, souhaitée par quelques communes¹⁷² et habitants¹⁷³ pour des raisons financières et d'emploi, a engendré de très fortes contestations, surtout au sujet du saccage des rivières, à partir du milieu des années 1960. La description suivante, extrait d'un reportage dans la vallée de l'Eure, fournit un condensé des dégâts, observables par un journaliste de passage, après une décennie d'extractivisme.

167. Voir : *L'Équipement Mécanique* (déc. 1968, oct. 1969, jan.-fév. 1975, avr. 1975, août-sept. 1975, juin-juil. 1978, jan.-fév., mars, avr. 1979, juin-juil. 1980, avr. 1981, août-sept., déc. 1981, déc. 1982, août-sept. 1983); *Le Granulat* (déc. 1977, mars 1978); *Bull. liaison* (juin 1977); *Annales des Mines* (nov. 1971, déc. 1976, p. 131-148, nov.-déc. 1982, p. 71-82); *Bull. AIGI* (1984, p. 311-314); *Mines et Carrières* (déc. 1984, juin 1991).

168. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *VIIe Plan de Développement Économique et Social (1976-1980)*, Paris, 1976, p. 61.

169. *L'Équipement Mécanique* (1978, n°169, p. 29).

170. Arnal, *op. cit.*, p. 34-38.

171. L'étude du BIPE ne voit "aucune difficulté" à l'acheminement, à terme, de très grosses quantités par des convois de 3,2 à 4 kt. L'étude du SERETE envisage des convois de 10 kt (avec des dimensions trop grandes pour les écluses existantes) pour 1985. Au moment où ces hypothèses sont faites, la navigation s'effectue essentiellement par péniches automotrices de 0,4 à 1,5 kt. Autres coûts importants : le matériel (navires, aires d'entrepôt, installations à terre, etc.), le coût des études d'impact et taxes diverses (droit de port, redevance domaniale propre au Code minier, pilotage, etc.). Voir : BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, *op. cit.*, p. 127; SERETE, *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome II - analyse technico-économique*, *op. cit.*, p. 142.

172. La municipalité de Biville cède une carrière pour le chantier de la centrale de La Hague, moyennant une redevance calculée au mètre cube de béton (*Chantiers de France*, nov. 1984). Simon Edelblutte illustre l'argument en Moselle, où de nombreuses communes reçoivent : un droit de forage, redevance au mètre cube extrait, pendant dix à vingt ans; une taxe professionnelle (dans le cas d'une installation de traitement des alluvions); au départ du carrier, un revenu lié à la location des étangs à des sociétés de pêche. L'extraction des alluvions peut fournir jusqu'à 75 % des recettes communales.

173. C'est le cas de la commune viticole de Vingrau. Pour les uns, l'ouverture de la carrière pourra apporter des taxes professionnelles et quelques emplois. Pour les autres elle, détruira un site qui fait tout le charme de cette petite commune. Voir : B. Charlier, « La défense de l'environnement : entre espace et territoire. Géographie des conflits environnementaux déclenchés en France depuis 1974 », Thèse de doctorat en géographie, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 1999, p. 85.

“Les trous d’eau remplacent les prairies, les arbres disparaissent, de lourds camions défoncent les petites routes : la vallée prend peu à peu un visage industriel. De la route qui surplombe Charpont, en amont de Dreux, on découvre un paysage "finlandais" : tout le fond de la vallée est troué de lacs, les uns minuscules, les autres immenses. Au milieu du plus grand, qui couvre 50 hectares, quelques îlots couverts d’herbe, quelques arbres, un dolmen coupé de la terre ferme par des années d’extraction. Des hautes tours métalliques, où l’on trie les cailloux sortis de l’eau – le "tout venant", disent les professionnels, – parvient un vacarme heurté, semblable à celui d’un train de marchandises. A d’autres endroits, la vallée n’a pas encore ces dimensions industrielles. L’exploitation se satisfait de formes artisanales et les petits trous d’eau se multiplient entre prés et maisons, au hasard du morcellement de la propriété foncière. Villiers-le-Morhier, par exemple, est devenue une véritable cité lacustre : chaque propriétaire y a bâti sa maison devant ce qu’il appelle un étang. A Jouy, où la vallée est plus étroite, résidences élégantes et moulins aménagés entourés de jardins parfaitement entretenus voisinent avec les ballastières en cours d’exploitation, aux portes mêmes du village. Les carrières n’ont pas partout également enlaidi le paysage. Certaines d’entre elles qui ont été exploitées depuis plus de vingt ans, comme à Chérisy, près de Dreux, ont été nettoyées et bordées de peupliers. Des pelouses et des fleurs donnent à ces villages traversés par la route Paris-Granville un aspect accueillant. Cependant, ces exemples sont exceptionnels. Généralement les ballastières abandonnées ou en cours d’exploitation sont sales, désordonnées. Certaines servent même de dépôts d’ordures.” (*Le Monde*, 03/06/1971).

Saccage des rivières

Au début des années 1970, le patronat et les ingénieurs insistent sur le fait que “le public manifeste une sensibilité accrue à ces modifications”. Ladite “sensibilité” repose sur des transformations objectives décrites par les hydrologues et géographes. Au-delà de la Loire, toutes les rivières du pays, des grands fleuves¹⁷⁴ aux affluents¹⁷⁵ et rivières de montagne¹⁷⁶, sont

174. Babonaux, *op. cit.* ; B. Bouchaud et al., « Incidences des extractions de matériaux alluvionnaires et de l’aménagement des cours d’eau sur l’écosystème aquatique », *Bulletin Français de Pisciculture* 273 (1979), p. 137-156 ; Maire et Lasserre, *op. cit.* ; P. Beaudelin, « Conséquences de l’exploitation des granulats dans la Garonne », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 60.4 (1989), p. 603-616 ; Gasowski, *op. cit.* ; Edelblutte, « "Logique d’exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.* ; C. Carré et M. Chartier, « La gestion d’une ressource non renouvelable : entre gestion durable et aménagement des nuisances, le cas des granulats alluvionnaires en Île-de-France », *Annales de Géographie* 111.626 (2002), p. 406-418 ; Nabet, *op. cit.* ; Jantzi et al., « Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne », *op. cit.* ; H. Jantzi et al., « Ajustements géomorphologiques du chenal de la moyenne Garonne en aval de Toulouse au cours des 200 dernières années (sud-ouest, France) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 23.2 (2017).

175. Extraction de 20 Mt de granulats alluvionnaires dans les vallées de la Vilaine et du Meu entre 1958 et 1983 : P. Rainelli et F. Bonniex, *Rentabilité des opérations de remblaiement des carrières désaffectées*, 83/081, Rennes : INRA, 1983.

176. Sur l’Isère entre 1949 et 1968, il aurait été prélevé 9 Mm³ de sédiments sur le tronçon Goncelin-Domène ; sur le Drac dans la plaine de Grenoble, les prélèvements auraient dépassé 7 Mm³ entre 1950 et 1972 ; les quantités extraites sur l’Arve entre 1950 et 1985 auraient été de 20 Mt. Les ajustements du chenal directement liés à l’extraction sur l’Arve seraient à l’origine d’un déstockage sédimentaire de 21 Mt, ce

concernées. Chaque étude détermine les taux d'incision historiques pour mettre en évidence qu'ils sont sans commune mesure avec ceux observés avant 1950¹⁷⁷. Les rythmes d'incision sont rapportés à un chiffre annuel, comme pour l'Arve ou l'Isère¹⁷⁸. Sur l'Arve en aval de Cluses, le taux d'incision passe de 25 cm/an entre 1950 et 1974, à plus de 50 cm/an entre 1974 et 1981 ; dans la plaine du Fayet, le rythme de l'incision est de 50 cm/an entre 1950 et 1972. Le cumul fournit un aperçu sur une plus longue période, comme pour l'Ardèche et la Drôme¹⁷⁹, ou la moyenne vallée de la Moselle ou la Garonne¹⁸⁰. Les niveaux d'extraction et d'incision sont toujours corrélés.

Si l'extraction de granulats alluvionnaires a eu des conséquences différenciées selon l'histoire de chaque rivière, il est aisé de fournir des points communs : érosion des berges, perturbations des conditions d'écoulement par "chenalisation"¹⁸¹ et incision du lit, aggravation des risques hydrologiques par rétention sédimentaire et végétalisation des corridors fluviaux, perte de biodiversité par diminution des zones humides (très riches sur le plan de la faune et de la flore), affouillement des ouvrages en rivière (les fondations de piles de ponts, comme le pont Wilson), etc. L'activité des gravières peut accélérer l'écoulement des crues et aggraver les inondations en aval. Les modifications du lit peuvent engendrer une dégradation ou suppression de frayères, et une destruction de flore ou au contraire implantation de nouvelles espèces désirées ou non. Les extractions ont ainsi détruit directement (lors des extractions dans le lit

qui conduit à doubler le chiffre des prélèvements. Voir : E. Gautier, « Suivi de l'impact d'une ballastière sur une rivière torrentielle : le Petit Buech (Hautes-Alpes) », *Géographes associés* 10.1 (1992), p. 113-118 ; Peiry, Salvador et Nouguié, *op. cit.* ; N. Landon et H. Piégay, « L'incision d'affluents méditerranéens du Rhône : la Drôme et l'Ardèche », *Géocarrefour* 69.1 (1994), p. 63-72 ; C. Bou et J.-N. Salomon, « L'impact des aménagements anthropiques sur le cours moyen du Tarn », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen* 3.1 (1998), p. 29-38 ; A.-J. Rollet, H. Piégay et A. Citterio, « Impact des extractions de graviers dans le lit mineur sur la géométrie des zones aquatiques périfluviales du Doubs (France) », *Géographie physique et Quaternaire* 60.3 (2006), p. 253-269.

177. Une incision plus ancienne existe depuis le milieu du XIXe (Isère en aval de Grenoble, Drac inférieur). Parfois, elle peut être positivement reçue par les populations riveraines de certaines rivières. Voir : *La Houille Blanche* (mars 1975) ; C. Blanchet et M. Brissaud, « Evolution du lit du Drac dans la traversée de Grenoble », *Société hydrotechnique de France*, Xème Journées de l'hydraulique 10.5 (1968), Publisher : Persée - Portail des revues scientifiques en SHS, p. 1-7 ; J.-L. Peiry et F. Nouguié, « Le Drac dans l'agglomération de Grenoble : première évaluation des changements géomorphologiques contemporains », *Revue de géographie alpine* 82.2 (1994), p. 77-96 ; Peiry, Salvador et Nouguié, *op. cit.* ; Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

178. Sur une section de 20 km en amont de Grenoble, l'Isère a connu des abaissements de 20 à 30 cm/an entre 1950 et 1970.

179. Les volumes perdus sur 50 km s'élèveraient pour la Drôme à environ 10 Mm³ en 58 ans soit 3 500 m³/km/an et pour l'Ardèche à 1,7 Mm³ en 62 ans, soit 520-550 m³/km/an : Landon et Piégay, *op. cit.*, p. 64.

180. Dans la moyenne vallée de la Moselle, l'incision, mesurée entre 1932 et 1980, a pu atteindre 4 m par endroit. Les incisions les plus fortes ont toujours lieu à proximité immédiate des points d'extraction les plus anciens ou les plus importants. L'enfoncement de la Garonne s'accélère nettement à partir de 1960 : l'incision moyenne est de 1 m et peut atteindre plus de 3 m localement. Sur un petit tronçon en aval de Toulouse, on constate une perte d'environ 1 Mm³ entre 1964 et 1982 et de 265 500 m³ entre 1982 et les années 1990. On observe un abaissement de 50 cm de la ligne d'eau dans le Doubs, avec des fosses d'extraction de 80 à 120 cm. Voir : Beaudelin, *op. cit.* ; Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.* ; Rollet, Piégay et Citterio, *op. cit.* ; Jantzi et al., « Ajustements géomorphologiques », *op. cit.*

181. L'extraction dans le lit mineur a une influence directe sur la topographie du chenal principal (abaissement) et une augmentation du différentiel topographique entre chenal principal et bras secondaires. Le matériel transporté peut constituer des bancs de sable ou galets susceptibles de combler les bras secondaires favorisant ainsi le phénomène de "chenalisation".

majeur) ou indirectement (par les perturbations de la dynamique fluviale) un milieu naturel original et rare en Lorraine¹⁸². Les articles prouvent que les conséquences néfastes sur les rivières sont durables¹⁸³.

Outre les ponts, l'autre dégât hautement symbolique qui reçoit un certain écho concerne l'approvisionnement en eau potable. Au point que la Moselle ne doit son salut, selon une étude, qu'aux menaces sur l'alimentation en eau potable de l'agglomération nancéienne, efficacement dénoncées par "l'intervention active de défenseurs de l'environnement"¹⁸⁴. Le creusement du fond du lit a en effet pour conséquence l'abaissement de la ligne d'eau et par suite de la nappe phréatique, avec des conséquences possibles sur les captages et sur les rendements agricoles. Dans certains cas, comme la Loire, il faut ajouter une remontée du bouchon vaseux et du front sale dans l'estuaire, avec ses incidences sérieuses sur l'alimentation en eau douce. Ceci inquiète habitants, voisins et élus : les services régionaux produisent d'ailleurs des enquêtes sur cet impact spécifique, notamment dans l'Allier et la Loire¹⁸⁵.

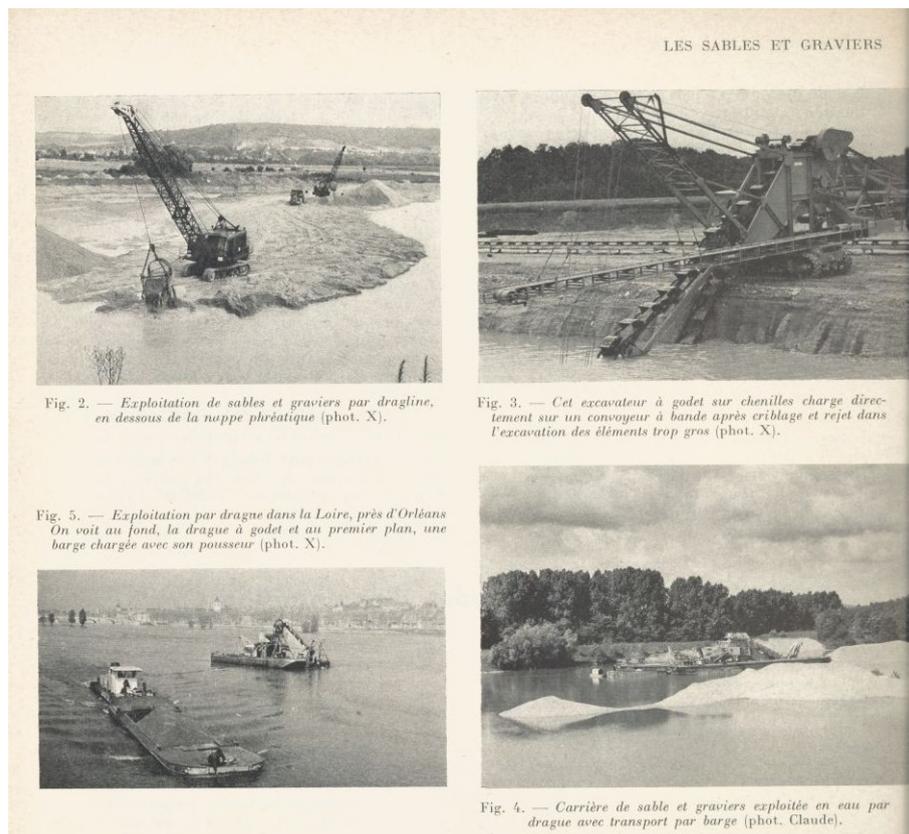


FIGURE 1.8 – Extraction de granulats alluvionnaires¹⁸⁶.

182. Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

183. L'arrêt des extractions de sédiments dans le lit mineur de la Loire n'a pas mis fin à l'incision du chenal principal plus de 15 années après l'arrêt des extractions : Nabet, *op. cit.* ; en de multiples secteurs de la Garonne, le prélèvement ainsi que l'incision ont entraîné un décapage intégral de la couverture alluviale laissant apparaître le substratum rocheux, traduisant le maintien d'un fort déficit sédimentaire y compris après l'arrêt des extractions (à ce jour, le secteur présente toujours un fort déficit sédimentaire) : Jantzi et al., « Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne », *op. cit.*

184. Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

185. SRAEB, *Examen des problèmes posés par les captages d'A.E.P. implantés dans les alluvions de la Loire et de l'Allier en Bourgogne*, Service Régional de l'Aménagement des Eaux de Bourgogne, février 1984.

Conflits

Si les articles scientifiques objectivent certains dégâts, et permettent de caractériser la grande accélération des années 1960, ils ne disent rien sur le contenu des affects imprimés sur les humains par cette extraction – ou, dans les termes de Lefebvre, comment leur espace vécu est affecté par l'espace conçu des planificateurs. A une échelle nationale, c'est une contestation de forte intensité et multiforme qui se construit. Les innombrables oppositions révèlent que l'extractivisme ordinaire, pas plus que les autres, ne va pas de soi. Toutefois, contrairement à d'autres conflits extractifs dans le monde, situés à la frontière marchande (*commodity frontier*), et pour lesquels la destination précise de l'extraction est parfois inconnue et hors de portée¹⁸⁷, ceux présentés ici parviennent à rattacher les espaces coproduits. Le caractère local de l'extractivisme, le fait que le coût de transport pousse à l'implantation de carrières à proximité des chantiers de l'AT, permet de réunir les contestations contre l'extraction et contre le projet d'AT, et augmente les probabilités de conflit ouvert, surtout pour les chantiers urbains puisque dans ce cas les carrières peuvent difficilement être établies dans une zone "déserte". Les habitants et leurs maires ne peuvent être indifférents à l'extraction, ne fut ce que du fait des passages des camions : une carrière produisant 200 kt/an, soit 1 000 t/jour, induit un trafic de l'ordre d'une cinquantaine de camions pleins (et autant de vides) par jour, un trafic lourd largement responsable de la destruction des routes secondaires¹⁸⁸ (chap. 3). Les arguments des associations prouvent qu'elles sont remarquablement informées et habiles dans la production de preuves : elles mesurent le passage des camions¹⁸⁹, sont conscientes des hectares consommés par les carrières¹⁹⁰, de l'épuisement prévu par les experts¹⁹¹, elles

186. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 134).

187. Sur les conflits extractifs en Amérique Latine : J. Martinez-Alier et M. Walter, « Social metabolism and conflicts over extractivism », dans : *Environmental governance in latin america*, sous la dir. de F. de Castro, B. Hogenboom et M. Baud, Springer, 2016, p. 58-85 ; M. Pérez-Rincón, J. Vargas-Morales et Z. Crespo-Marín, « Trends in social metabolism and environmental conflicts in four Andean countries from 1970 to 2013 », *Sustainability Science* 13.3 (2018), p. 635-648 ; A. Scheidel et al., « Environmental conflicts and defenders : A global overview », *Global Environmental Change* 63 (2020), p. 102104.

188. On en trouve un témoignage à l'Assemblée, dans les questions écrites en septembre 1965 : "dégradation de la voirie communale du fait de l'exploitation de carrières" (*Annales de la Voirie*, avr. 1966). Ce type de point de discordance remonte au début du XIXe et figurent dans les *Subventions pour dégradations extraordinaires aux chemins vicinaux ou ruraux* (lois des 28 juillet 1824, 21 mai 1836, 20 août 1881). L'article 14 de la loi de 1836 stipule : "Toutes les fois qu'un chemin vicinal, entretenu à l'état de viabilité, sera habituellement ou temporairement dégradé par des exploitations de mines, de carrières, de forêts ou de toute autre entreprise industrielle appartenant à des particuliers, à des établissements publics, à la couronne ou à l'État, il pourra y avoir lieu à imposer aux entrepreneurs ou propriétaires, suivant que l'exploitation ou les transports auront eu lieu pour les uns ou pour les autres, des subventions spéciales dont la quotité sera proportionnelle à la dégradation extraordinaire qui devra être attribuée aux exploitations" : Debauve, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle, op. cit.*, p. 150-151.

189. "On a calculé qu'une centaine d'hectares d'exploitation de ballastières représenterait le passage d'un camion toutes les minutes pendant 50 ans !" (*Sites et Monuments*, oct. 1971).

190. Le chiffre de 35 km² est repris puisqu'il est déploré que les carrières qui s'ouvrent chaque année "mutilent environ 3 500 ha" (*Sites et Monuments*, juil. 1978, p. 62).

191. "si l'on continue l'exploitation telle qu'on la fait et au rythme actuel, d'ici peu la question ne se posera plus, car il n'y aura plus de cailloux exploitables en France. Les spécialistes jugent que même si le rythme d'exploitation ne s'aggrave pas d'ici là, dans une quinzaine d'années il n'y en aura plus" (*Sites et Monuments*, oct. 1971). Ou : "Ce massacre est d'autant plus stupide que d'après les statistiques, au rythme

savent que les matériaux nobles sont “pratiquement gratuits”, établissent les cadences¹⁹², vérifient les profondeurs d’extraction¹⁹³, soulignent le fait que le matériel n’est pas rentable sans rendements élevés¹⁹⁴, etc.

Pour la période 1974-1994, à partir des informations recueillies dans la seule revue associative *Combat Nature*, Bruno Charlier recense cent conflits liés aux activités d’extraction¹⁹⁵. Il montre que les projets d’exploitation de carrières suscitent toujours, indépendamment de leur localisation, de vives oppositions des populations locales riveraines et des associations écologistes. Ce sont autant les “nuisances” propres à l’exploitation (bruit, explosions et tirs de mines, poussières, va-et-vient des camions de transport, dévaluation des propriétés construites et en cours de réalisation), que les dégradations du milieu qui en résultent (impact paysager, perturbation du système hydrique et pollution de la nappe phréatique, érosion) qui sont dénoncées¹⁹⁶. Les premières affectent et mobilisent en priorité la population locale. Les secondes sont le plus souvent dénoncées par les associations écologistes qui inscrivent ces conflits très localisés dans un mouvement de contestation beaucoup plus large remettant en cause tous les grands travaux consommateurs de granulat¹⁹⁷. Pour les besoins de l’exposé, nous désignerons ces deux variantes par NIMBY (*not in my backyard*) dans la suite.

Un certain nombre de mobilisations a pour objet non pas la seule carrière, mais la coproduction des espaces (ou le coaménagement des territoires) : en 1964, un château du Moyen-Âge en bord de Seine menacé par les sablières conduit à une mobilisation¹⁹⁸ ; en 1978, un site où une carrière devait être ouverte et fournir 140 kt de gravier pour la construction d’une autoroute, a été occupé durant plus de quatre mois par les habitants de la commune¹⁹⁹ ; toujours en 1978, la SEPANSO (Société d’Étude pour la Protection et l’Aménagement de la Nature dans le Sud-Ouest) s’est opposée à l’ouverture d’une carrière dont les produits étaient destinés à la confection de la sous-couche de l’autoroute Bayonne-Soumoulou, à laquelle l’association écologiste s’opposait ; pour les mêmes raisons en 1982, la SEPANSO s’est opposée

actuel d’extraction, les sables alluvionnaires de ces vallées ne fourniront pas plus de 10 à 15 ans” (*Sites et Monuments*, jan. 1972, p. 22-23).

192. Jusque 1 000 m³/jour en été pour une seule entreprise, 3 Mm³ déclarés par an. Pour ne pas s’appuyer sur ce que disent les entreprises, l’association compte la rotation journalière des camions de 30 et 50 tonnes.

193. Les associations déplorent que le contrôle soit aléatoire. Ainsi, elles mesurent des trous de 20 mètres alors que la profondeur ne devrait pas dépasser cinq mètres (*Aménagement et Nature*, 1979, p. 21-22).

194. “il est d’ailleurs constant de dire que la drague doit bouffer au moins 500 000 m³ de cailloux pour qu’elle soit rentable sur cinq ans” (*Aménagement et Nature*, n°54, 1979, p. 21).

195. Pour un total de 1 619 conflits recensés. Un nombre important de conflits reste à l’état latent, par exemple quand le mécontentement du voisinage n’aboutit à aucune action tangible. Édité au niveau national depuis 1974, tirée à 10 000 exemplaires en 1978, *Combat Nature* se classait alors parmi les principales revues d’information sur “la défense de l’environnement”. A la fin de chacun de ses numéros, une rubrique présente, département par département, les principales “actions menées par les groupes et les associations qui militent pour la défense de la nature, de l’environnement, et pour l’écologie.” Charlier, *op. cit.*, p. 419.

196. Edelblutte, « "Logique d’exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

197. Charlier, *op. cit.*, p. 351.

198. Il s’agit du Château-Gaillard. Le maire de la ville concernée établit le lien avec le béton dans le journal *Le Monde* (23/09/1964) : “les sablières ouvertes dans le désordre le plus total ont éventré la Seine. On ne distingue plus le lit du fleuve des immenses plaques d’eau ayant envahi les cratères qui y ont été creusés. Ce spectacle désolant permet de mieux saisir la menace qui pèse sur le site du Château-Gaillard, balcon de la petite ville des Andelys. Il est déjà très atteint en dépit de la vigoureuse campagne menée par M. Cheneaux de Leyritz, maire de la ville, qui estime avec juste raison qu’il ne faut point sacrifier le site au béton”.

199. *Sites et Monuments* (juil. 1978, p. 79).

à l'ouverture d'une carrière dont les matériaux devaient être utilisés pour la réalisation du soubassement de la future ligne TGV Paris-Bordeaux ; toujours en 1982, le Groupement des Associations des Sites et de l'Environnement de la Côte d'Azur dénonçait l'extension de carrières pour servir l'autoroute A64. L'ouverture de certaines carrières est donc parfois critiquée en même temps que les aménagements touristiques, la construction des centrales nucléaires et des autoroutes qu'elles alimentent en matériaux de construction²⁰⁰.

L'opposition la plus vive, parfois tout un village est mobilisé²⁰¹, vise les carrières elles-mêmes, détachées des espaces qu'elles servent. Cette contestation s'exprime d'abord dans les vallées alluvionnaires, où la grande accélération de l'extraction est dévastatrice. Le cas de la vallée de l'Eure, où se produit une "ruée vers le sable"²⁰² du fait de sa proximité avec Paris, illustre les fortes tensions dès le milieu des années 1960²⁰³. La présidente de l'Amicale des vallées de l'Eure, de l'Avre et de la Blaise, Madame Albine du Payrat, va lancer l'alerte dans différents médias. Elle souhaite "contribuer à alerter l'opinion des adhérents de la SPPF", et aborder "un des très difficiles problèmes auxquels se heurtent et se heurteront les défenseurs des paysages dans les prochaines décades"²⁰⁴. Elle déplore "l'excès des ballastières" qui détériore la vie et compromet l'avenir "au profit d'intérêts particuliers, tout de même moins importants", et met en garde contre ceux qui font "miroiter" à une commune la possibilité qui lui sera donnée d'aménager en zone de loisirs nautiques le plan d'eau résultant des ballastières²⁰⁵. Dans toutes les vallées où l'extractivisme sévit, des alertes similaires sont émises²⁰⁶ et des associations de défenses des rivières sont créées. Si les infrastructures sont parfois contestées, l'objectif premier consiste surtout à "débarrasser le lit mineur des rivières de ces dragues catastrophiques pour le milieu ambiant". Parmi les opposants, une profession va se distinguer : les pêcheurs, pour qui l'approfondissement du lit de la rivière est une catastrophe

200. De 1974 à 1994, *Combat Nature* recense 232 conflits liés à des aménagements routiers ou autoroutiers.

201. C'est le cas à Combleux où maire et habitants se mobilisent contre l'implantation de deux centres d'extraction de sables sur l'autre rive de la Loire (*Sites et Monuments*, juil. 1978, p. 73).

202. *Annales des Mines* (mars 1973, p. 53).

203. Dès 1966, 35 communes créent un "groupement d'urbanisme" afin de soumettre les entreprises extractives à une réglementation plus sévère, de préserver des sites "où se trouvent les paysages les plus caractéristiques" de la vallée, et de créer des sites destinés à accueillir des activités de loisirs (section 1.4). Les entreprises extractives s'y déplacent "en abandonnant derrière elles d'énormes excavations qui se remplissent d'eau stagnante ou de détritrus" (*Le Monde*, 18/12/1968).

204. *Sites et Monuments* (oct. 1971, p. 8-13).

205. "il faut savoir que non seulement son aménagement mais aussi son entretien et son gardiennage seront très onéreux et que les frais engagés ne seront couverts que si cet "étang" a une centaine d'hectares au minimum et s'il est distant d'environ 50 km du plan d'eau aménagé le plus proche. Sinon, sauf peut-être dans les zones les plus favorisées par un climat méridional, il ne sera pas rentable, donc pas entretenu et deviendra lui aussi un jour ou l'autre une décharge publique." (*Sites et Monuments*, oct. 1971, p. 8-13).

206. Par exemple (*Sites et Monuments*, avr. 1971) : "L'Endre, toute proche, subit une exploitation anarchique de ballast qui entraîne la destruction d'une splendide forêt domaniale par abaissement de la nappe phréatique ! Nous prévoyions sa disparition et nous avions prédit la conséquence inévitable de cette exploitation inconsidérée". Un des adhérents avait adressé une lettre, datée du 19 septembre 1968, au préfet du Var au sujet de la pollution de l'Endre et de la Nartuby. Dans le Sud-Ouest, suite aux dragages dans le Tarn et en Dordogne, où on assiste à "la folie d'extraction", riverains, pêcheurs et "autres familiers de ces eaux courantes" se sont regroupé en associations de défense pour "enrayer un mal qui se propage depuis plus de vingt ans et aussi d'alerter les Pouvoirs Publics" (*Aménagement et Nature*, 1979, p. 21-22).

tant pour le poisson, qui subit la disparition des frayères²⁰⁷, que pour la technique utilisée²⁰⁸. Les frayères sur la Garonne ou de la Dordogne sont en effet détruites par l'extraction des graviers qui les constituaient²⁰⁹ et la pêche des grandes aloses et de l'esturgeon y est particulièrement menacée. Dans le cours supérieur de la Loire, une étude constate une diminution sensible des populations de poissons²¹⁰. En mer aussi la destruction des frayères est redoutée puisque le hareng, par exemple, ne fraie que sur les fonds dont les graviers présentent une certaine granulométrie et que ses œufs restent posés sur le fond – ce qui suscite la réaction du Président du Comité Central des pêches maritimes²¹¹.

Si la plupart des luttes restent confinées à l'échelle d'une commune, quelques conflits ont une portée nationale. Ainsi, Louis Bériot, secrétaire général de l'association "Espaces pour demain" et co-producteur de l'émission télévisée "La France défigurée" (rédacteur en chef de l'information à Antenne 2) dénonce l'extraction de granulats marins dans un livre paru en 1976²¹². Outre les conflits dans la Vallée de l'Eure, le journal *Le Monde* (19/06/1974, 09/09/1974) traite du conflit autour du projet d'ouverture d'une importante carrière dans une colline boisée au sud de l'agglomération grenobloise (La Colline Verte). Ce conflit résume les éléments dépliés plus tôt. Le choix du lieu tient au fait qu'il doit servir la construction d'autoroutes voisines et que, de l'avis même du préfet, les extractions alluvionnaires ne sont plus possibles, en raison des dangers que présente un abaissement excessif du lit du Drac et de l'Isère (*Le Monde*, 19/06/1974). Malgré la mobilisation d'associations environnementales, de partis politiques, du conseil général du département, des conseillers municipaux de cinq communes, des députés de deux circonscriptions, la signature des pétitions par 10 000 habitants, de la commission départementale des sites, le préfet valide le projet en août 1974. Il est intéressant pour notre enquête de relever que l'administration justifie sa décision à partir d'une étude d'écologie territoriale, "Besoins et ressources en sables et graviers de la région grenobloise", rédigée en 1972 et soumise au préfet le 13 avril 1973²¹³.

207. Elle diminue le courant et favorise ainsi la sédimentation des particules fines ; le fond de grave devient un fond de vase beaucoup moins favorable aux poissons ; les invertébrés dont se nourrissent les poissons et qui vivent dans l'eau interstitielle du gravier disparaîtront ; le lavage en pleine eau des graviers libère les sédiments fins qui augmentent la turbidité, puis se déposent sur les graviers situés en aval en les colmatant, si bien que les œufs de poissons ne peuvent plus s'y développer normalement.

208. La pêche au filet dérivant de fond ne peut se pratiquer que sur les fonds de profondeur unie et là où les courants sont homogènes. Or, après extraction de la grave, les fonds forment une succession de creux et de bosses et des tourbillons se manifestent, rendant impossible ce genre de pêche. En mer, le creusement de profondes excavations peut rendre impossible l'exercice de la pêche au chalut.

209. La principale menace pour le maintien d'une pêcherie dans la Dordogne ou l'Allier est l'inaccessibilité ou la disparition pure et simple des frayères. Voir : *L'Équipement Mécanique* (oct. 1980) ; *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 135) ; G. Castelnaud et P. De Verdilhac, « La pêche dans l'estuaire de la Gironde », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 52.1 (1981), p. 81-105.

210. Bouchaud et al., *op. cit.*

211. Celui-ci s'inquiète de l'extraction de granulats marins dans *PCM* (mars 1974).

212. L. Bériot, *Les Pieds dans la mer*, Paris, J.-C. Lattès : Éditions maritimes et d'outre-mer, 1976, p. 143-153.

213. Ce document prend en compte la prévision de la consommation moyenne annuelle de ces matériaux dans le périmètre du schéma directeur, soit 5 Mt jusqu'en 1985 et 7 Mt au-delà. Les contestations vont redoubler : occupations – "Les écologistes font barrage devant les bulldozers" dit *Le Dauphiné Libéré* (20/02/1975) – et manifestations entre février et avril 1975, publication par le Comité de défense d'un journal ("Quelle était verte ma colline"), etc. Pour une synthèse critique : <http://www.piecesetmaindoeuvre.com/spip.php?article5>

1.3.3 Épuisements géo-politiques

Les inventaires des gisements et les conflits conduisent les ingénieurs à développer des réflexions extra-techniques dans leurs revues. Celles-ci sont riches d'enseignements en ce qu'elles démontrent que l'épuisement des gisements alluvionnaires, objectivement établi en comparant le renouvellement moyen à celui des extractions en rivières, contient une dimension politique. En effet, au-delà de l'aspect géologique, les écarts entre gisements et ressources exploitables varient également en fonction de la puissance de l'opposition, donc des rapports de forces. Dans des registres différents, l'éternelle plainte du patronat et les inquiétudes des ingénieurs suggèrent, en creux, une remise en cause de l'extractivisme ordinaire et une aggravation des contraintes.

Consommation d'espaces

La "consommation d'espaces", exprimée en ces termes, est l'objet de préoccupations d'une multitude d'acteurs : carriers, ingénieurs, riverains et différentes administrations. La raison est simple : la forte croissance de l'extraction demande chaque année 16 à 35 km² (superficie égale au tiers de Paris intra-muros²¹⁴) ; le total des carrières autorisées dépasse les 1 200 km² en 1980²¹⁵. Les besoins en terrains des carriers correspondent aux surfaces occupées par les bâtiments et les aires de stockage, aux zones de mise en dépôt des stériles et aux zones d'extraction²¹⁶. Cette consommation sert comme argument au CNEXO pour faire la promotion du granulats marin – les contraintes foncières sont moins sévères en mer.

Ce sont les rapports conflictuels entre usagers pour l'espace (ou espaces vécus et conçus) qui sont en cause. A partir des années 1970, la profession se plaint que les bons gisements en bord de rivière, qui s'étendent souvent sur de grandes surfaces car l'épaisseur est assez faible, soient "stérilisés" par l'urbanisation. Au contraire, le ministère de l'Industrie reconnaît que les carrières "occupent une superficie importante, provisoirement retirée à l'espace utile à l'urbanisation et aux infrastructures, ou au maintien de l'agriculture et des espaces verts²¹⁷". Des fonctionnaires du ministère de l'Agriculture dénoncent les carrières laissées à l'abandon, aux effets "désastreux" sur le paysage, et qui stérilisent des territoires dont la vocation première était l'agriculture²¹⁸. Dans les vallées de la Vilaine, du Meu et de la Seiche, 600 ha de terres agricoles ont été supprimées et remplacés par une série de terrains résiduels évoluant en décharges sauvages, ronciers ou plans d'eau²¹⁹. Dans ces conflits traditionnels d'usage de l'espace, c'est la question des traces et le fait que l'exploitation laisse derrière elle "un terrain inutilisable" qui va polariser les attentions. Les carriers admettent que dans certaines vallées, la multiplication de ces plans d'eau est source de nombreux conflits : on compte plus de 2 000 ha de carrières abandonnées en région parisienne ; 1 700 gravières abandonnées en Alsace²²⁰.

214. AN, 20100079/61. Rapport du comité des carrières alluvionnaires, avril 1973 ; *Annales des Mines* (jan.-fév. 1973, p. 52, mars-avr. 1981) ; *Bull. liaison* (juin 1977) ; *Bull. AIGI* (1984, p. 5 et 291) ; IFEN, *L'environnement en France, op. cit.*

215. En IDF, 300 carrières couvrent une superficie de l'ordre de 100 km² (*PCM*, juin-juil. 1982, p. 34). En 1993, les carrières en bord de rivière occupent 500 km² : *ibid.*, p. 227.

216. *Bull. AIGI* (1984, p. 269-273).

217. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 28).

218. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 127).

219. Rainelli et Bonnieux, *op. cit.*

220. Voir : *Annales des Mines* (mars 1973, p. 27) ; *Bull. AIGI* (1984, p. 251-254).

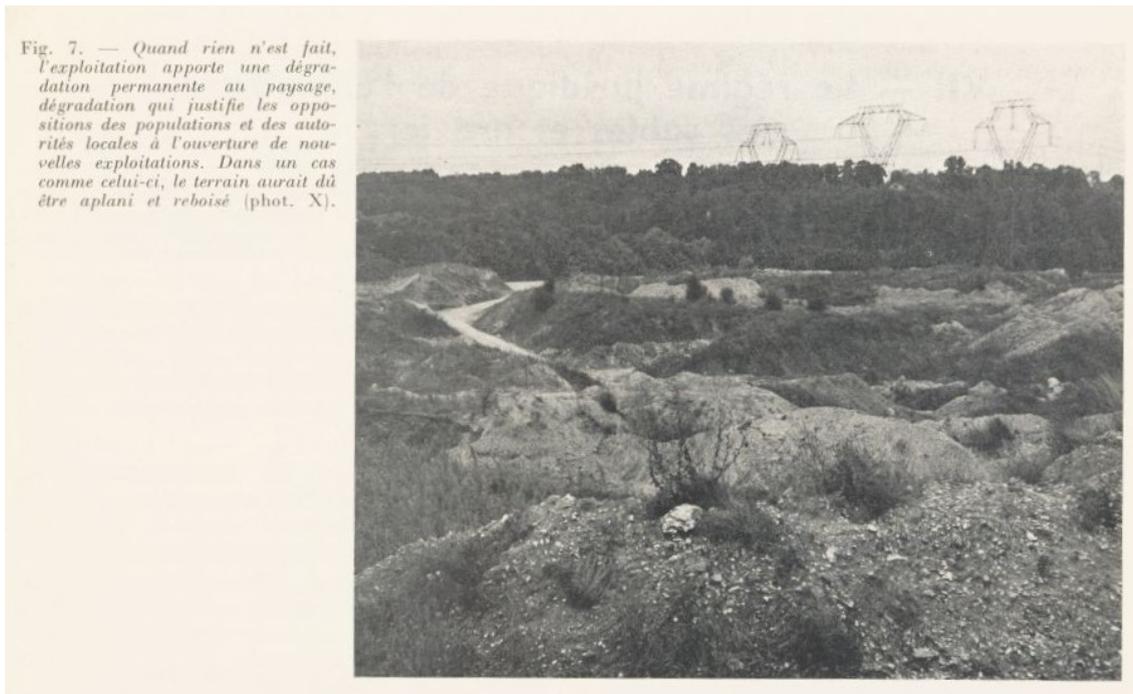


FIGURE 1.9 – Illustration des dégâts de l'extraction qui “justifient” les oppositions ²²¹.

Gisements et rapports de forces

Les exercices de prospection sur l'extraction, la consommation et le transport de granulat, d'abord exclusifs à la région parisienne puis étendus au cadre national ²²², sont toujours plus alarmistes à partir des années 1970. Depuis cinquante ans, ceux-ci jugent le présent difficile et le futur préoccupant ²²³. S'ils révèlent des difficultés réelles, ils prouvent aussi le caractère politique de la matière et servent d'outil aux ingénieurs et carriers dans le rapport de forces.

Dès le début des inventaires, les “réserves disponibles” des gisements sont rapportées à ce qui est reconnu “exploitable” en fonction des contraintes extra-géologiques. Celles-ci vont se transformer au tournant des années 1970 ²²⁴ : de contraintes propres aux usages sociaux, toujours conflictuels, de l'espace, elles deviennent “environnementales” et politiques. Ce n'est plus seulement l'urbanisation dans les vallées qui est responsable de la “stérilisation” des gisements, ou qui constitue un “frein à l'activité”, mais aussi, et surtout, les oppositions. En ce sens, les très nombreuses estimations sur les gisements jouent un rôle dans le rapport

221. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 137).

222. Un article craint que dans certaines régions d'Europe les ressources soient “épuisées à court terme” et que des conflits compromettent de nouvelles extractions. Il en déduit qu'il est nécessaire de réaliser de nouvelles études pour trouver de nouveaux gisements (*Bull. AIGI*, avr. 1986).

223. Le magazine *UNICEM* (jan. 2008) offre un dossier au titre explicite : “Des granulats, pour combien de temps?”, où on apprend l'existence “des tensions sur les approvisionnements”. Selon le patronat, les perspectives restent préoccupantes : UNPG, *Carrières et granulats, pour un approvisionnement durable des territoires*, Livre blanc, 2011.

224. L'inventaire du BRGM en 1966 pour les vallées de la Seine reconnaît que 928 Mt des 3,5 Gt sont exploitables. Dès 1976, les prévisions de 5 Mt/an de granulat extraits de la Loire pour alimenter la région parisienne en 1985 sont jugées irréalisables étant donné les “contraintes d'environnement de plus en plus grandes” : BRGM et CETE, *op. cit.*; Arnal, *op. cit.*

de forces à partir des années 1970. Alors que les premiers chiffres des réserves utilisables en région parisienne n'inquiètent pas au vu de la consommation prévue jusque 1985²²⁵, une première étude alarmiste juge qu'elles seront épuisées avant 1990²²⁶. Début des années 1980, le bilan des gisements est de 8,5 Gt, soit 25 à 35 ans de consommation²²⁷. Pourtant, il est toujours extrait, en 2020, des granulats alluvionnaires dans des régions où la pénurie était annoncée pour 1985. A chaque fois qu'un épuisement est annoncé, il est suivi de nouvelles recherches qui, *in fine*, le retardent²²⁸. Plus qu'une connaissance scientifique, le maintien des estimations catastrophistes et les annonces de pénurie jusqu'à aujourd'hui soutiennent les carriers dans leur combat contre des réglementations et contraintes plus sévères. L'idée que "l'ouverture de carrière est de plus en plus difficile" est répétée *ad nauseam*²²⁹.

Évoquer en creux



FIGURE 1.10 – Couvertures des premiers numéros de la revue *Le Granulat*²³⁰.

225. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, op. cit., p. 91.

226. Voir : *Annales des Mines* (nov. 1971) ; Arnal, op. cit., p. 37.

227. Le gisement alluvionnaire le plus grand est très probablement celui d'Alsace : 25 Gm³ accessible à l'exploitation, compte tenu des contraintes réglementaires et écologiques (*Bull. AIGI*, 1984, p. 9 et 253).

228. Primel dira, *a posteriori*, "dès 1965 on pouvait prévoir que si le rythme de croissance de la consommation de granulats se maintenait, les ressources en matériaux alluvionnaires de la région parisienne seraient épuisées en 1975" (*Bull. liaison*, juin 1977, p. 6). Des projections sont sans cesse réactualisées (*Bull. liaison*, mai-juin 1983). Les ressources d'IDF en granulats alluvionnaires, estimées par le BRGM au milieu des années 1990, représentent 750 Mt avec les contraintes. L'extraction s'est pourtant maintenue : 15,5 Mt en 1990, 9,2 Mt en 2000, 6 Mt en 2015 : Augiseau, « La dimension matérielle de l'urbanisation », op. cit., p. 292 et annexe 50.

229. Ils déplorent les "conflits et blocages enregistrés en matière d'ouverture de carrières malgré l'institution des études d'impact et de la réglementation relative à la remise en état des lieux après exploitation" (*Bull. AIGI*, 1984, p. 291). Le dernier Livre Blanc de l'UNPG regrette "Une activité moins bien acceptée par les riverains, une montée en puissance des préoccupations environnementales", et que les conditions d'accès "s'avèrent de plus en plus difficiles, soit par les contraintes qui pèsent sur l'activité, qu'elles soient sociétales, spatiales ou réglementaires, soit par l'opposition grandissante des populations au développement de nouvelles exploitations" : UNPG, *Carrières et granulats*, op. cit., p. 39, 71.

Longtemps, les carriers sont discrets sur les dégâts et contestations – ils sont évoqués en creux, lorsqu'ils embarrassent leur activité. L'inflation des témoignages au début des années 1970 suggère que la situation devient intenable pour la profession. Elle s'inquiète soudainement du "vaste problème de l'environnement" – les "nuisances" et "pollutions" causées lors des extractions – qui peut même éventuellement conduire à des interdictions complètes d'exploitation sur des étendues considérables²³¹. Ainsi, un article des *Annales des Mines* évoque en 1971 les "problèmes d'environnement" – urbanisme, eau, qualité des paysages, bruit, poussières, trafic de camions lourds – qui créent une "pression croissante pour arrêter ou limiter les exploitations existantes, et empêcher la création de nouvelles exploitations"²³². L'auteur effectue un tri : si chacune des réactions "est légitime d'un certain point de vue et jusqu'à un certain point" (figure 1.9), il juge "inadéquates" les "attitudes extrêmes, condamnant toute exploitation". Un autre constate la "recrudescence des plaintes et protestations" mettant en cause des carrières dans les pays de la Loire et de Bretagne. Ce seul fait, dit-il, "suffirait à prouver s'il en était besoin qu'il existe un problème"²³³. Il est admis qu'une exploitation "modifie nécessairement le relief et l'aspect du paysage dans le sens d'une dégradation". Rapidement, une longue liste des dégâts est explicitée : gêne et nuisances diverses pour le voisinage, dégradation des sites et paysages, dépréciation du cadre de vie, abandon "peu esthétique" (sic) des carrières, après exploitation, qui se transforment en dépôts d'ordures ou détritiques divers, modification du rythme hydrodynamique des eaux souterraines, disparition de forêts et terres agricoles, augmentation du risque d'une pollution indirecte de la nappe phréatique lorsque celle-ci baigne les alluvions. Ainsi, explique l'article, c'est "un euphémisme de dire que les carrières sont peu appréciées du public : le courrier des plaignants s'amasse sur le bureau du ministère de l'Environnement et sur ceux des préfets ; des associations de sauvegarde se constituent ; la presse et la télévision s'emparent d'un sujet brûlant"²³⁴.

Si elle a une diffusion confidentielle, *Le Granulat*, la revue que l'UNPG crée en 1975, est symptomatique des craintes de la profession. Dès le premier numéro, le ton du président de l'UNPG est très grave et solennel : "notre profession évoluera ou disparaîtra". Le premier article ("Une profession à part?") insiste sur l'arrivée, au premier plan du débat public, des préoccupations environnementales en France, et demande si les producteurs de granulat vont accompagner le mouvement de lutte "contre les nuisances" qui touche déjà d'autres secteurs. Le second est consacré aux résultats d'une étude commandée par l'UNPG à un institut de sondage sur "les attitudes du grand public à l'égard des carrières et sablières" (en particulier les nuisances susceptibles d'être causées par leur exploitation) : 65 % des Français interrogés souhaitent voir imposer aux carrières une réglementation plus stricte contre les nuisances. Les numéros suivants appartiennent tous au registre de l'autocritique à vocation légitimante : tenir compte des dégâts des gravières sur les nappes phréatiques, la biodiversité et des plaintes des élus (juillet 1976, décembre 1977). Signe des temps, le Livre Blanc sur les carrières présenté en décembre 1977 a pour sous-titre "richesse ou plaie?".

230. *Le Granulat* (nov. 1975, mars 1979, août 1979).

231. BIPE, *La structure des transports de granulats en 1985*, op. cit.

232. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 137).

233. L'auteur observe "des réactions de plus en plus véhémentes" (*L'Équipement Mécanique*, n°109, 1972). Plusieurs centaines de plaintes et réclamations sont enregistrées à cette époque : AN, 20100079/61. Rapport du comité des carrières alluvionnaires, avril 1973, p. 3.

234. *Annales des Mines* (jan.-fév. 1973, p. 52).

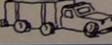
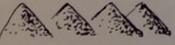
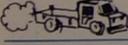
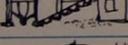
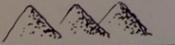
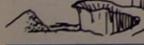
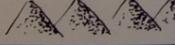
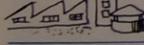
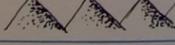
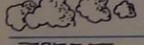
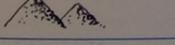
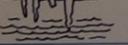
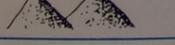
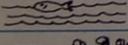
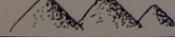
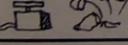
	Considèrent comme dommages et nuisances les plus graves		Reconnaissent causer ces dommages et nuisances	
	Maires	Parlementaires	Producteurs de granulats interrogés en 1975	
 Détérioration de la voirie par les camions	██████████ 43 %	██████████ 32 %	 39 %	
 Bruits de la circulation des camions	██████ 19 %	██████ 25 %	 35 %	
 Bruits causés par les installations de traitement	██████ 17 %	██████ 21 %	 29 %	
 Dégradation du site par l'extraction	██████ 27 %	██████████ 38 %	 39 %	
 Enlaidissement du paysage par les installations industrielles	████ 10 %	████ 14 %	 39 %	
 Poussière produite par l'exploitation	██████ 16 %	██████ 24 %	 16 %	
 Atteintes aux nappes d'eau souterraines	██████ 16 %	██████████ 30 %	 20 %	
 Pollution des rivières	████ 11 %	██████ 22 %	 23 %	
 Ebranlements causés par les tirs de mines	████ 9 %	██ 5 %		

FIGURE 1.11 – Sondage, commandé par l'UNPG, réalisé auprès de 258 élus²³⁵.

1.4 Politiques d'aménagement des espaces cachés

Les dégâts, l'épuisement des gisements alluvionnaires et les résistances obligent les pouvoirs publics à réagir bien au-delà du travail d'inventaire, des réflexions sur les approvisionnements et de la gestion par flux de matières. Il ne s'agit pas d'une crise quantitative des ressources, mais une crise des dispositifs institutionnels qui régulent la production d'espaces cachés. C'est toute la coproduction d'espaces qui entre dans une période de haute tension dans les années 1960 puisque tant les grandes infrastructures que les carrières sont très vivement contestées. L'État, puis les carriers et les ingénieurs, comprend qu'au-delà d'un problème de nuisances, il s'agit d'une question d'aménagements. La principale réponse, comme pour d'autres "nuisances" nationales, va passer par le droit²³⁶, et l'incorporation des carrières dans l'AT. A lire l'inflation législative et les discours sur la "prise de conscience", il est tentant de glisser vers le récit écomoderniste de l'émergence d'un "État environnemental"²³⁷. Dans ce paradigme, plus l'institutionnalisation de "l'environnement" se propage dans les champs²³⁸ (académique, administratif, etc.), plus les législations "environnementales" sont nombreuses,

235. *Le Granulat* (déc. 1977, p. 4).

236. Signe d'une époque : la *Revue juridique de l'environnement* est créée en 1976. Lors du congrès d'ouverture, le président de la Société française pour le droit de l'environnement rappelle les mots des ministres, et du président Pompidou, qui parlent d'une "nouvelle forme de délinquance" à laquelle doit correspondre un droit pénal spécifique élaboré en fonction de l'effet de dissuasion qu'il convient de rechercher.

237. "a state that possesses a significant set of institutions and practices dedicated to the management of the environment and societal-environmental interactions. Typically, this includes : environmental ministries and agencies; framework environmental laws; air, water and waste management legislation and associated regulatory bodies and mechanisms; dedicated budgets and environmental finance and tax provisions; and scientific advisory bodies, councils, and research organisations" : A. Duit, P. H. Feindt et J. Meadowcroft, « Greening Leviathan : the rise of the environmental state? », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 5-6.

238. Un mouvement qui remonte aux années 1970 en France : Kalaora et Vlassopoulos, *op. cit.*

plus l'action du pays est décrite comme "environnementale"²³⁹. Pourtant, outre que des mesures restrictives sont anciennes²⁴⁰, le fait de multiplier les lois ne dit rien de leur efficacité en pratique ni de leur fonction objective. Au contraire de ceux qui insistent sur le manque de droit²⁴¹, ou des textes mal rédigés, notre analyse suggère que l'accumulation de lois a, sans doute pour partie de manière imprévue, servi et accompagné l'extractivisme ordinaire. Nous montrons ici que la fin du régime libéral et les législations successives ne vont pas avoir d'effets notables : au contraire, elles contribuent à le normaliser et constituent des dispositifs de désinhibition qui permettent de perpétuer et d'approfondir les dégâts en toute connaissance de cause²⁴². Si la législation devient plus contraignante, et est globalement combattue par les carriers, elle va paradoxalement permettre des niveaux d'extraction toujours plus élevés.

1.4.1 Inflation juridique

La grande conflictualité autour des carrières, visible dans les tensions diverses (les inquiétudes et les luttes), va produire des effets dans le droit²⁴³ – qui va partiellement répondre aux revendications. Ce mouvement va avoir une conséquence importante : les critiques devront être émises dans le langage du droit. Ici la distinction entre les types de contestation importe. Les attentes des groupes qui luttent contre toute la coproduction d'espaces sont irréconciliables avec l'extractivisme. En revanche, celles qui portent sur les nuisances, la poussière ou les atteintes aux paysages peuvent être, partiellement en tout cas, intégrées.

239. Cet État, qui prolonge l'idée de l'État social dans les pays développés, est défini par rapport à un objet – "l'environnement" – dont les contours ne sont pas explicites. Voir : R. Eckersley, *The green state : rethinking democracy and sovereignty*, Cambridge, MA, MIT Press, 2004 ; J. Meadowcroft, « From Welfare State to Ecostate », dans : *The State and the Global Ecological Crisis*, sous la dir. de J. Barry et R. Eckersley, MIT Press, 2005, p. 3-23 ; K. Bäckstrand et A. Kronsell, éd., *Rethinking the Green State : Environmental governance towards climate and sustainability transitions*, London, Routledge, 2015 ; A. P. J. Mol, « The environmental nation state in decline », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 48-68 ; et des critiques : D. Hausknost, « Decision, choice, solution : 'agentic deadlock' in environmental politics », *Environmental Politics* 23.3 (2014), p. 357-375 ; D. Hausknost, « The environmental state and the glass ceiling of transformation », *Environmental Politics* 29.1 (2020), p. 17-37.

240. Un arrêt du 24 juin 1777 interdit d'enlever des matériaux dans le lit des rivières navigables ou sur leurs bords sous peine d'amende – interdiction confirmée par une ordonnance du 19 avril 1844. Voir : *Annales PC* (2ème série, 1844) ; A. Doussaud, *Des Extractions de matériaux et des occupations temporaires*, Bibliothèque de l'Entreprise de Travaux Publics, Paris, Marchal - Billard, 1892.

241. C'est le cas du juriste Jean Untermaier sur lequel nous nous appuyons : J. Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1ere partie) », *Revue Juridique de l'Environnement* 19.1 (1994), p. 5-36 ; J. Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (suite) », *Revue Juridique de l'Environnement* 19.2 (1994), p. 175-208.

242. Fressoz, « « La fin du monde par la science » », *op. cit.*

243. Le droit qui concerne ces espaces est, évidemment, bien plus vaste que le droit des carrières : droit de propriété, droit de l'occupation des sols (des permis de bâtir), droit du travail, etc. Sur le droit des carrières : Doussaud, *op. cit.* ; Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1ere partie) », *op. cit.* ; *idem*, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (suite) », *op. cit.* ; Martaud, *op. cit.* ; A. Farinetti, « Droit et protection des processus sédimentaires », *Revue Juridique de l'Environnement* 38.2 (2013), p. 205-220.

Incorporation sélective des demandes sociales

La liste des législations votées entre 1970 et 1993 pourrait être assimilée à une série de victoires des résistances aux extractions tant les changements sont notables. La plus grande réforme juridique pour les carrières depuis 1810²⁴⁴ vient avec la loi du 2 janvier 1970, qui modifie le Code minier qui régit les carrières : leur ouverture est désormais soumise à autorisation préfectorale préalable après consultation des services compétents et collectivités locales²⁴⁵. Cette loi signe la fin du régime très libéral qui prévalait. Jusqu'en 1970, donc, il n'y a aucune contrainte d'exploitation ou de réaménagement. C'est pourquoi, au sujet de l'extraction dans la vallée de l'Eure, le quotidien *Le Monde* (18/12/1968) peut déplorer, à juste titre, "qu'aucune disposition juridique n'empêche ce véritable sabotage". De l'avis général, l'ouverture d'une carrière était pratiquement libre²⁴⁶, puisqu'il suffisait d'une simple déclaration en mairie – déclaration que d'ailleurs seuls quelques carriers effectuaient²⁴⁷. Un décret de 1971 complète cette loi avec des dispositions quant à la remise en état des lieux après exploitation – ce qui répond en apparence au problème, souvent évoqué, de la stérilisation des terrains pris en zone agricole²⁴⁸. Si ces "mesures contraignantes" empêchent quelques extractions "anarchiques²⁴⁹", leurs effets restent modestes et l'inquiétude des administrations persiste quant à l'ampleur des dégâts et la fin des gisements qui sont au service de la production de la région parisienne. Ainsi, en 1971 et 1972, des études sont commandées pour penser simultanément les conditions d'approvisionnement, la conduite de l'exploitation et la réinsertion des carrières dans l'environnement²⁵⁰. Il s'agit déjà, dans un mouvement qui préfigure le paradigme du développement durable, de "réconcilier économie et environnement²⁵¹". Parmi leurs préconisations, ces rapports proposent une taxe parafiscale sur les granulats, qui sera effectivement créée en 1975 (0,05 F/t vendue), en vue de financer la réflexion sur les dégâts et les remises en état²⁵². En 1976-1977 (loi et décret d'application) est instauré le schéma départemental des carrières (SDC) qui fixe les objectifs à atteindre en matière de remise en état et de réaménagement des sites. Des Zones d'Exploitation et de Réaménagement Coordonnées des carrières (ZERC) peuvent désormais être créées lorsqu'une "coordination d'ensemble de l'exploitation des carrières et de la remise en état du sol est nécessaire pour éviter la dégradation du milieu environnant et permettre le réaménagement des terrains après exploitation" (article 109.1). Le décret de décembre 1979 réunit toutes ces réglementations. Les demandes d'ouvertures de carrières sont soumises à une étude d'impact, et les plus importantes exploitations (superficie

244. Quelques modifications mineures, sur l'emploi des explosifs ou des mesures de sécurité, ont lieu dans les années 1950 (*L'Équipement Mécanique*, mai 1954, p. 17, juil. 1955, p. 13-17, mars 1956).

245. Auparavant, les pouvoirs publics pouvaient interdire l'ouverture d'une carrière si elle était incompatible avec les plans d'urbanisme (*Annales des Mines*, juil. 1972).

246. Y compris le président de l'UNPG (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 200).

247. Un ingénieur des Mines explique que le service des Mines de la région Rhône-Alpes avait connaissance de l'existence de seulement 650 carrières alors que 1 200 exploitations ont fait une demande d'autorisation après la loi de 1970 (*L'Équipement Mécanique*, déc. 1980, p. 37).

248. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 127).

249. *Annales des Mines* (mars 1973, p. 53).

250. Un "Comité des carrières alluvionnaires" est constitué auprès de la Commission des carrières par arrêté du 18 octobre 1972. Voir : AN, 20100079/61. Rapport du comité des carrières alluvionnaires, avril 1973.

251. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 161).

252. D'un point de vue économique, elle prolonge les "crédits d'actions de politique industrielle" de 1971. En 1983, la valeur moyenne des granulats alluvionnaires : 25 F/t ; des concassés calcaires : 25 F/t ; des roches éruptives et métamorphiques concassées : 35 F/t (*Bull. AIGI*, 1984, p. 6).

supérieure à 5 ha ou production annuelle maximale supérieure à 150 kt) à enquête publique. Le préfet possède, avec ce décret, un instrument puissant pour refuser ou accorder ces autorisations. La remise en état des sites doit être effectuée parallèlement à l'exploitation et non plus après. Enfin, ce décret institue une commission départementale des carrières (CDC), instance consultative présidée par le préfet qui a pour mission d'émettre un avis motivé sur les demandes d'autorisation en concertation avec toutes les parties prenantes.

La fin du régime libéral et l'accumulation des réglementations répondent sans conteste aux plaintes locales les plus susceptibles d'être satisfaites : c'est le cas de la taxe parafiscale, de la recherche de granulats alternatif encouragée par les associations (ici des granulats calcaires en Dordogne²⁵³, là le granulats marin²⁵⁴), le réaménagement, ou remise en état, des carrières et la participation de groupes de "défense de l'environnement" dans les discussions sur l'ouverture des carrières. Considérons, par exemple, les positions de l'Union régionale pour la sauvegarde de la vie, de la nature et de l'environnement (URVN). Cette association insiste sur les insuffisances des législations, qui sont à l'origine du saccage des rivières. Elle met l'accent sur le besoin de réaménagements et déplore la préférence des préfets pour les arguments économiques²⁵⁵. Ses recommandations techniques (cesser d'extraire des matériaux nobles pour des ouvrages de génie civil quelconques, éviter les fronts de taille supérieurs à 15 m), fiscales²⁵⁶, ou démocratiques (plus grande participation des associations aux réglementations) sont absorbées sans trop de difficulté par les administrations²⁵⁷. Les premiers succès des mobilisations NIMBY, certes timides, apparaissent²⁵⁸. Signe que ces mesures inquiètent : la profession, qui déplore la taxe parafiscale, se coordonne activement au début des années 1980²⁵⁹. Les revues *L'Équipement Mécanique* et *Le Moniteur* organisent, partout en France,

253. Comme alternative au gravier de Dordogne, un article vante le granulats calcaire qui serait d'excellente qualité, facile à extraire, et meilleur marché (*Aménagement et Nature*, n°54, 1979, p. 22).

254. "Pourrait-on faire autrement ?" demande Mme Albine du Payrat. Sa réponse est affirmative : "Même si on continue à miser sur le seul béton, on le pourrait. Nous commençons juste en France à exploiter timidement les matériaux sous-marins existants, notamment en Méditerranée et dans le plateau continental de la Manche qui est pourtant la principale source du ravitaillement de l'Angleterre. On peut aussi concasser les roches de certaines montagnes comme le font plusieurs pays étrangers. De toute façon, la poule aux œufs d'or a presque disparu !" (*Sites et Monuments*, oct. 1971). La même position est défendue dans *Le Granulat* (déc. 1977).

255. Face à une Administration qui "paraît systématiquement favorable aux industriels", les associations sont obligées d'entamer de longues et complexes procédures dans les tribunaux. En attendant la décision de l'autorité judiciaire, l'Administration autorise la poursuite des activités créant ainsi parfois un préjudice irréparable (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 196).

256. Dès l'année 1973, l'URVN propose, lors d'une réunion contradictoire sur les carrières dans la région Provence - Côte-d'Azur, tenue en présence de représentants de l'Administration, un projet tendant à la modification du Code minier et prévoyant l'institution d'un "fonds national des carrières" alimenté par une taxe parafiscale, dont les buts étaient similaires à celle finalement adoptée.

257. Elle salue l'institution de la CDC ou l'intégration de représentants des associations de protection de l'environnement dans le comité de gestion de la taxe parafiscale (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 193-198).

258. Une première victoire de la section locale de la SPPF contre l'extension sur 92 ha supplémentaire d'une ballastière en Seine-et-Marne (*Sites et Monuments*, jan. 1972, p. 22-23) ; le comité de défense des berges de la Dordogne à Saint-Denis parvient à faire cesser une installation ; en 1976, victoire des opposants à la carrière de La Colline Verte (l'annulation de l'arrêté préfectoral qui autorisait l'extraction repose sur vices de forme) ; un arrêté préfectoral de 1977 interdit l'utilisation des dragues mobiles dans le lit de la Garonne entre Bègles et Langon : Castelnaud et De Verdilhac, *op. cit.*

259. Des épais numéros spéciaux discutent de ce changement : *L'Équipement Mécanique* (avr. 1980) ; les *Annales des Mines* (mars-avr. 1981) ; les *Annales de la Voirie* (mai 1982) ; *Travaux* (sept. 1983) ; etc.

des réunions sur le nouveau régime d'exploitation tout au long de l'année 1980. Y participent des ingénieurs des Ponts et Chaussées et des Mines, des magistrats et des carriers²⁶⁰.

Désinhibition alluvionnaire

La période qui va de 1970 à 1993 illustre une caractéristique du Capitalocène, dont l'histoire est aussi celle des désinhibitions qui normalisent l'insoutenable²⁶¹. Le mot de désinhibition, tel que le propose Jean-Baptiste Fressoz, condense deux mouvements : celui de la prise en compte du danger et celui de sa normalisation. Notre enquête en fournit un exemple criant. Alors que la conflictualité est en hausse, que les dégâts sont documentés, connus des populations affectées, des administrations et des ingénieurs, l'extractivisme s'accroît sur toute la période. Entre 1970 et 1993, alors même que le "droit des carrières" s'épaissit considérablement, et que la "prise de conscience" est partagée, le niveau d'extraction augmente de 292 Mt en 1970 à 415 Mt en 1991, avec deux hausses d'environ 100 Mt (entre 1970 et 1981 et entre 1985 et 1991). La seule baisse sensible, entre 1981 et 1985, ne doit rien à la législation, mais à un fléchissement des programmes de construction inscrits dans l'AT.

Le cas des granulats alluvionnaires est particulièrement frappant²⁶². Alors qu'il est établi depuis le milieu des années 1960 que les extractions en rivières sont responsables de destructions importantes des écosystèmes, celle-ci augmente également de 197 Mt à 219 Mt sur la même période (avec un record de 238 Mt en 1980). Prenons le cas de la Loire : l'apogée des extractions (12 Mt) a lieu en 1979, l'année qui suit le très médiatique effondrement du pont Wilson²⁶³. A sa suite, le rapport Foucaud, du nom de l'Ingénieur Général des Ponts et Chaussées qui a dirigé un groupe de travail interministériel, suggère de limiter les extractions de sables et graviers dans le lit mineur du fleuve : 50 % à l'horizon 1985-1986 et, à terme, de supprimer totalement les extractions. A sa suite, une lettre-circulaire du 12 juin 1980 demande aux préfets de réduire de façon très sensible les extractions de matériaux dans le lit des cours d'eau du domaine public fluvial²⁶⁴. Le Syndicat National des Producteurs de Sable et Graviers se dit "conscient" de la gravité de la situation et signe, après "concertation" avec les ministères, un protocole afin de mettre un terme à l'extraction "excessive de granulats". Les pouvoirs publics fixent, en 1984, un arrêt complet des extractions dans le lit mineur en 1992. Un nouveau rapport du CGPC rappelle, en 1991, le rôle des extractions sur l'incision du lit mineur de certains cours d'eau, et recommande de limiter drastiquement les autorisations d'extraction dans le lit mineur, de restreindre l'usage des matériaux alluvionnaires dans les ouvrages publics et de développer activement des solutions de substitution. Les rachitiques résultats de cette intense campagne illustrent les propriétés de cette période : l'utilisation de

260. De mars à octobre, des réunions sont organisées à Paris, Lyon, Nantes, etc.

261. Bonneuil et Fressoz, *op. cit.*

262. Comme le granulats marin, dans des proportions incomparablement moindres. En parallèle aux recherches sur les gisements, le CNEXO a engagé un programme d'étude sur les répercussions de l'exploitation industrielle des sables et graviers sur l'environnement marin. Les dégâts (sur la faune et la flore benthique ou les ressources halieutiques) sont documentés dès le début des années 1970. Voir : AN, 20144686/20. Les répercussions de l'exploitation industrielle des sables et graviers sur l'environnement marin et sur les activités économiques du domaine maritime, février 1974 ; *Bull. CNEXO* (fév. 1974) ; *L'Équipement Mécanique* (avr. 1975) ; Augris et Cressard, *op. cit.*

263. Sur le Rhin, l'extraction passe de 5 Mt en 1962 à 31 Mt en 1976 et tend à se stabiliser à 27 Mt en 1982.

264. Voir : *Travaux* (sept. 1983) ; AN, 19920645/33. Conseil Général des Ponts et Chaussées, 5ème section, affaire n°80.43, séance du 17 juin 1980.

granulat alluvionnaire pour des remblais, techniquement la plus facile à éviter, reste autorisée jusqu'en 1988 ; en 1992, année de l'interdiction supposée, il est extrait environ 3 Mt²⁶⁵ ; les extractions sont en forte hausse dans le lit majeur de 1981 à 1991, passant de 857 kt à 3,1 Mt/an (une augmentation qui correspond à 82 % de la diminution des extractions dans le lit mineur de cette section). Si l'on considère l'extraction de matériaux dans les lits majeur et mineur de la Loire et de ses affluents, il a été extrait 209 Mt entre 1981 et 1993²⁶⁶. Il faut attendre 1995 pour que le protocole d'interdiction soit strictement respecté sur la totalité du lit de la Loire²⁶⁷. Au moins 225 Mt de granulat alluvionnaire ont été extraits du lit mineur de ce fleuve entre 1949 et 1993²⁶⁸.

1.4.2 Instruments

Ces législations ont-elles été salutaires mais insuffisantes, comme le suggère le juriste Jean Untermaier ? Celui-ci déplore en effet les imperfections de la législation, laissant entendre que d'autres lois, mieux rédigées ou plus conformes à l'"intérêt général", seraient efficaces. Ses objections sont fondées mais reposent implicitement sur le postulat que les acteurs cherchent à définir une "bonne institution" alors que les textes et lois reflètent l'état des rapports de forces. Ainsi, le droit est inefficace seulement si on postule qu'il doit faire baisser sensiblement l'extraction, alors qu'il s'avère absolument efficace si on comprend qu'il sert à la poursuite de l'extractivisme ordinaire. Quelques outils semblent particulièrement utiles : dépolitiser les discussions par le langage technique ; accumuler les connaissances sur les dégâts et les possibles réparations ; développer une politique du granulat "en tenant compte des différents intérêts" ; les réaménagements. C'est paradoxalement par l'essor d'une planification (devenue territoriale) écologique de long terme que se maintient l'extractivisme depuis les années 1970.

Pyrrhus

Si les textes de loi répondent aux demandes de régulations des oppositions de type NIMBY, ils reconfigurent aussi le terrain du conflit et les termes du débat en disqualifiant l'opposition à la co-production d'espace elle-même. En effet, pour être légitimes, les critiques doivent s'exprimer dans un langage technique qui évacue la dimension proprement politique des conflits²⁶⁹.

De 1970 au début des années 1990, les discussions sont totalement déterminées par les insuffisances des nouvelles lois. Ainsi, le système déclaratif était à l'origine de détournements de procédure puisque les surfaces demandées étaient ensuite dépassées. La modification qu'amène la loi de 1970 est plus apparente que réelle et le nouveau régime généralise simplement l'autorisation préalable en allégeant la procédure. En effet, plutôt que de chercher l'accord préalable d'un certain nombre d'administrations, il lui suffit dorénavant de formuler une seule et unique demande d'autorisation²⁷⁰. Le président d'honneur de l'UNPG est explicite : "la

265. BRGM, *Granulats*, n°R37826, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, septembre 1993.

266. *La Houille Blanche* (n°6/7, 1996, p. 112).

267. L'histoire est similaire pour d'autres rivières : Jantzi et al., « Ajustements géomorphologiques », *op. cit.*

268. Nabet, *op. cit.*, p. 185.

269. A la même époque, les grandes entreprises théorisent le besoin de fissurer le front des oppositions en créant un "dialogue" avec certaines, et délégitimer en même temps les "radicales" : G. Chamayou, *La société ingouvernable : une généalogie du libéralisme autoritaire*, Paris, La Fabrique, 2018, chapitres 14 et 15.

270. Si l'exploitation des carrières était libre au regard de la législation des mines, elle ne l'était plus dans de nombreux cas où l'autorisation administrative préalable était requise (au titre notamment de l'urbanisme,

profession elle-même a souhaité en 1970 que soit substituée au régime de simple déclaration, la demande d'autorisation d'ouverture de carrières²⁷¹. D'autres critiques concernent l'insuffisance qualitative et quantitative des réaménagements²⁷². Les seuils choisis en 1979 sont par exemple jugés trop élevés²⁷³. Les législations négligent les petites carrières, qui sont les plus nombreuses et qui ont leur propre difficulté²⁷⁴. Autre exemple : la procédure est si lourde qu'aucune ZERC n'est créée en 1993²⁷⁵ quand elles sont abandonnées au profit du Schéma Départemental des Carrières. Untermaier y voit l'exemple type d'imperfections dont souffre la législation : des instruments "souvent peu utilisables" et un réseau réglementaire "beaucoup trop lâche", qui prive "largement d'effectivité les contraintes imposées aux carrières²⁷⁶". La responsabilité en incombe principalement, selon lui, aux importantes possibilités d'évasion qu'offrent les multiples dispenses — d'autorisation, d'enquête publique, d'étude d'impact —, les exceptions et les cas particuliers. Beaucoup déplorent la mansuétude des administrations²⁷⁷, ou le fait que les travaux "d'intérêt national" justifient la poursuite des "emprunts" de gravier²⁷⁸. L'arbitraire du pouvoir des préfets est également dénoncé²⁷⁹. La taxe parafiscale fournit un exemple prototypique. Une fois instituée, les critiques des associations portent sur son niveau, jugé trop faible²⁸⁰, sur l'absence des matériaux empruntés

de l'aménagement du territoire, de la protection des monuments naturels et des sites, de la conservation des espaces boisés, de la réglementation des établissements classés). Voir : *Annales des Mines* (mai 1970, p. 20).

271. *Le Granulat* (déc. 1977, p. 1).

272. Avec l'obligation de la "remise en état du site", les carrières, avec l'accord des communes, se contentent en général de renforcer les berges des étangs par des enrochements et de planter quelques arbres, ce qui donne aux étangs des formes géométriques : Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*, début 1973, avant la taxe parafiscale, un article recense à peine 46 opérations d'aménagement terminées, 21 en cours et 246 en projet en région parisienne (*Annales des Mines*, mars 1973, p. 15).

273. En 1991, 88 % environ des carrières ont produit moins de 150 kt et la moitié ont une superficie inférieure à 5 ha – et sont exempts de l'obligation d'étude d'impact et d'enquête publique : IFEN, *L'environnement en France*, *op. cit.*

274. Il est difficile de réaliser un réaménagement progressif dans une carrière de petite surface. De plus, lorsque la production est très faible, la carrière peut durer très longtemps : avec une production inférieure à 10 kt/an une petite carrière de 2 ha peut durer plus de dix ans. En outre, la surveillance de ces très petites carrières, qui ne fonctionnent que quelques semaines par an, est très difficile. Enfin, l'absence sur place d'un exploitant permanent aggrave les risques de dépôts sauvages de déchets.

275. Sept sont à l'étude en Alsace, sans que le projet de schéma ne soit approuvé : Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1ere partie) », *op. cit.*

276. *Ibid.*, p. 14.

277. En septembre 1980, un ingénieur reconnaît que l'administration des mines a défendu indistinctement les carrières dans les années 1970, "alors que beaucoup d'exploitations ne le méritaient pas" (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 200).

278. La construction de l'autoroute A49 Grenoble-Valence conduit à un nouveau dragage de 1,2 Mm³ entre 1988 et 1989. Le régime dérogatoire des extractions pour travaux publics permet à l'Administration de les autoriser temporairement, sans enquête publique ni étude d'impact.

279. Si, à la fin des années 1980, les préfets de Meurthe-et-Moselle, craignant pour la pérennité des ressources en eau potable, ont refusé d'accorder ou de renouveler de nombreuses autorisations, dans les Vosges, où le problème de l'eau potable était moins crucial, les gravières ont été au contraire plus facilement autorisées à s'étendre : Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*

280. "La taxe à payer par les exploitants pour la remise en état est actuellement de 5 centimes par tonne de granulat, soit moins de 3 pour 1000 du coût moyen à la production. Un vrai cadeau!" (*Sites et Monuments*, juil. 1978, p. 62). Malgré la forte inflation, ce montant restera inchangé jusque 1984.

dans son périmètre²⁸¹, sur la composition de son comité de gestion, créé pour “faire discuter les avis divergents” et censé représenter la pluralité des intérêts²⁸² ou sur le fait qu’elle peut se traduire par un allègement des charges correspondant aux obligations des exploitants, en particulier de remise en l’état. La composition de la CDC²⁸³ constitue un autre enjeu de luttes : tant les associations que les carriers²⁸⁴ s’y estiment insuffisamment représentés. Ces opposants acceptent ainsi le cadrage de l’adversaire : c’est le succès de ce que Chamayou décrit comme la “production de la dialogie dominante²⁸⁵”.

Le verrou, qui protège les carriers, ne tient pas à ces paramètres, mais dans le nécessaire approvisionnement qui reste indiscutable. Il est révélé lors d’une réunion (21/04/1980) lors de laquelle la nouvelle législation est débattue en présence de carriers, d’ingénieurs, de Pierre Guillaumat, et de Madame du Payrat (qui représente les associations de protection de la nature). Comme lors d’autres rencontres organisés par la profession et les revues, un magistrat, chef du bureau “Législation” au Ministère de l’Industrie, y apaise les craintes des carriers inquiets du pouvoir des préfets. Comme l’approvisionnement est forcément local, dit-il, un préfet ne pourra faire fi du besoin d’ouvertures de carrières. La “réponse de protection [des carriers] sera notamment assurée par la CDC qui est là précisément pour prendre en compte et éclairer le préfet non seulement sur les problèmes des autres intérêts à protéger, mais également sur les problèmes locaux, départementaux d’approvisionnement en matériaux de carrières²⁸⁶”. Toute demande de granulat doit être satisfaite.

Documenter les dégâts et les réparations

Le récit de la prise de conscience sert bien sûr l’argument de l’ignorance (passée) des conséquences des activités mais soutient aussi que, désormais, les dégâts vont être pensés et

281. Un vif débat anime les administrations à ce sujet, à l’occasion d’un chantier de déviation de la RN7 à Cosne-sur-Loire : AN, 19840363/47. Correspondances DDE de la Nièvre avec CTMCC et DRCR, 1977-1978.

282. Composé de 14, puis 16 membres (car 2 membres représentant les associations de protection de la nature sont ajoutés en 1980) : 7 membres représentant l’État (le président de la CDC et des représentants de six ministères) ; le directeur du BRGM ; 3 membres représentant les producteurs ; 1 membre représentant les utilisateurs ; 2 personnalités choisies en raison de leurs compétences sur le sous-sol et la protection de la nature. En 1977, Pierre Guillaumat, ingénieur des Mines et ancien ministre, grand artisan de la politique énergétique du Fordisme (Directeur de la direction des Carburants puis administrateur général du Commissariat à l’Énergie atomique), est nommé président du comité de gestion de la taxe parafiscale.

283. Sa composition ressemble à celle du comité de gestion de la taxe parafiscale – les représentants des ministères sont remplacés par le président du conseil régional et les maires des communes sur lesquelles une exploitation de carrière est projetée : Untermaier, « Les carrières, l’environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1^{ère} partie) », *op. cit.*

284. Les associations de protection de la nature dénoncent leur faible représentation et le fait que “les services de l’État [soient] ligotés par les préfetures”. Voir l’article “Commission des carrières : l’environnement sous-représenté” dans *La Lettre du Hérisson* (déc. 1991, p. 27). Le président de l’UNPG craint que les commissions et la politique départementale des carrières se transforment en outil d’un certain “dirigisme”, voire “jacobinisme” (*L’Équipement Mécanique*, déc. 1980, p. 39 ; *Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 200). Les compositions sont publiées dans un supplément spécial au numéro de *L’Équipement Mécanique* (déc. 1980). Celle des Bouches-du-Rhône comprend : le président du conseil général, un maire, le vice-président de l’URPG, le président de l’Association pour la sauvegarde de la vie, de la nature et de l’environnement des Pennes-Mirabeau et le président de l’Association de la défense des sites ruraux de Châteauneuf-le-Rouge.

285. Le dispositif consiste à nier le caractère politique du conflit, et les rapports de domination entre parties, pour le transformer en problème lié à un déficit d’écoute ou de communication : Chamayou, *op. cit.*, p. 126-131.

286. *L’Équipement Mécanique* (août-sept. 1980, p. 71).

réparés. Une caractéristique détonne dans la période qui commence dans les années 1970 : l'accumulation de savoirs sur les dégâts, et de propositions pour les réparer ou les optimiser ²⁸⁷.

Le rôle de la taxe parafiscale est essentiel. Elle finance 86 des 106 études et recherches sur les gisements réalisées par le BRGM et les laboratoires des Ponts et Chaussées de 1971 à 1983 (1.3.1), le Livre Blanc de 1977, le groupe de travail interministériel mis en place après l'effondrement du pont Wilson et chargé d'étudier l'approvisionnement des départements de la Loire ou de l'Allier, ou la mise en place d'une "méthodologie des études de ressources en granulat ²⁸⁸". Signe d'un souci de répondre aux critiques, les fonds ²⁸⁹ sont principalement affectés à des opérations de réaménagement dont les revues font la publicité (*Le Granulat, Mines et Carrières*). Fin 1980, 491 actions ont été engagées au titre de la taxe : 221 études d'approvisionnement et de réduction des nuisances ; 90 études, souvent par des ingénieurs agronomes, pour le réaménagement et 180 travaux de réaménagement. Le président du comité de gestion de la taxe parafiscale explique en 1981 que les "études de réduction des nuisances ont d'ores et déjà débouché sur des solutions qui permettront progressivement de réduire les atteintes à l'environnement". Cette taxe, très discutée par les carriers, fonctionnaires et ingénieurs, est supprimée temporairement en 1985, puis définitivement en 1988 (au grand dam des carriers ²⁹⁰). De 1975 à 1988, elle aura financé plus de 800 opérations.

Ainsi, la taxe parafiscale est bien plus qu'une écotaxe qui oblige individuellement chaque carrier à internaliser les externalités. C'est un dispositif qui alimente de nombreuses études, finance les réaménagements et encourage à plus de concertation. Autrement dit, sa fonction consiste à produire du consentement (désamorcer les potentielles mobilisations) et de la connaissance désinhibitrice ²⁹¹. Guillaumat affirme même qu'elle sert à protéger la profession des campagnes similaires à celle lancée après l'effondrement du pont Wilson contre toutes les exploitations dans le bassin de la Loire. C'est dans cette optique que la taxe a financé des centaines de réaménagements dans les années 1970, y compris des études de scientifiques qui jugent "indispensable que les extractions dans le lit mineur d'un cours d'eau, ne soient plus autorisées ²⁹²". En 1984, son président dit que son objectif essentiel est de faciliter la réconciliation (sic) de l'exploitation des carrières et de l'environnement ²⁹³. Pour les sécuriser, outre des inventaires systématiques, il faut aussi anticiper les dégâts (penser aux futurs

287. Le cas du granulat marin fournit une autre illustration : en parallèle aux campagnes de prospection, aux inventaires, aux réflexions techniques et économiques, sont menées de longues études sur les impacts de cette extraction sur les milieux. Le CNEOX documente pour légitimer l'extraction.

288. Y. Berton et L. Primel, *Méthodologie des études de ressources en granulats*, n°79 SGN 577 MTX et N°35, BRGM - LCPC, 1979.

289. Un comité de gestion décide de l'utilisation des fonds, définit les modalités des actions et suit leur exécution. Le BRGM, qui récolte l'argent, est chargé de la mise en œuvre des décisions – qui sont répertoriées dans une rubrique de la revue *L'Équipement Mécanique*.

290. Parmi ses dix propositions de 1992, l'UNPG, qui a longtemps implicitement ou explicitement dénoncé cette taxe, va proposer de la rétablir "sous de nouvelles modalités", s'apercevant qu'elle est préférable au système légal de la taxe unique des installations classées, puisque le produit peut être géré par la profession elle-même : Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1ère partie) », *op. cit.*

291. Terme repris à Fressoz ou Zimmer : Fressoz, « « La fin du monde par la science » », *op. cit.* ; A. Zimmer, « Brouillards mortels. [Une histoire de la production de météores industriels, 19e/20e siècles. Le cas de la vallée de la Meuse.] », Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences et des techniques, Université de Strasbourg, 2013.

292. Bouchaud et al., *op. cit.*

293. *Mines et Carrières* (oct. 1984, p. 489).

réaménagements) et les (potentiels) conflits, donc penser des outils pour les rendre acceptables. Cette immense production de savoirs sur les dégâts environnementaux représente un argument sérieux contre ceux qui y voient une caractéristique d'un "État environnemental", qui aurait émergé dans les années 1970²⁹⁴.

Politiques rationnelles du granulat – vers la planification

“c’est précisément une telle analyse sur la nécessité d’une réflexion avant même le début de l’extraction des matériaux, qui a conduit le législateur à autoriser la planification (et non plus la simple programmation) de l’approvisionnement en matériaux et de la réhabilitation des sols²⁹⁵.”

Non seulement toujours plus d’articles sont dédiés aux transformations du droit, mais les thèmes autrefois séparés sont pensés de façon holiste : les inventaires, la continuité des approvisionnements en granulats, les matériaux de substitution (y compris granulat marin et issu de béton de démolition), la réduction des “nuisances d’exploitation”, des opérations de réaménagement de “zones dégradées” par l’extraction, la gestion des dégâts et conflits, les effets des réglementations environnementales, les études d’impact sur l’environnement, etc. Les pouvoirs législatifs comprennent progressivement que la solution à la poursuite de l’extractivisme au service de l’AT ne peut se contenter de mesures environnementales : c’est un problème d’aménagement du territoire, qui se résout en l’incorporant dans les politiques de l’AT. Dès le début des années 1970, prenant acte de l’impossibilité de prolonger la période de laisser-faire, les ingénieurs cherchent à déterminer une “politique rationnelle” des carrières (ou du granulat). Celle-ci doit être “conforme à l’intérêt général” tel que les ingénieurs l’envisagent, c’est-à-dire tenir compte de la croissance des besoins en matériaux, de l’épuisement des gisements et du besoin de réduire les inconvénients inhérents à l’exploitation²⁹⁶. Puisqu’on ne peut “se passer” (sic) des granulats alluvionnaires, il faut “organiser rationnellement leur exploitation”. Le texte cite deux types de mesures : améliorer la connaissance et la préservation des gisements (éviter de les “stériliser”); développer un programme d’exploitation et de réaménagement (qui doit être établi à l’avance, en concertation avec les pouvoirs publics concernés, exploitant, propriétaire). L’idée que la conciliation de l’économie et de l’environnement, socle du paradigme du développement durable²⁹⁷, passe par une réflexion sur les “carrières et l’aménagement du territoire” est dépliée dans les *Annales des Mines*. La désinhibition est explicite puisque l’auteur admet que “les données de l’environnement initial sont presque inmanquablement modifiées” par l’extraction de granulat. Selon lui, “respect de l’environnement ne peut vouloir dire immobilisme (...) : la seule attitude constructive est d’influencer l’évolution dans le sens de l’intérêt général”. Il prône une concertation, à l’échelle locale appropriée aux problèmes, entre les possesseurs de terrains, les exploitants de carrières

294. Duit, Feindt et Meadowcroft, *op. cit.*; A. Duit, « The four faces of the environmental state : environmental governance regimes in 28 countries », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 69-91.

295. Deux ingénieurs des Mines dans les *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 122).

296. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 138).

297. Partant du constat des oppositions vives, les ingénieurs jugent qu’il existe un “juste arbitrage” entre la “nécessité de l’approvisionnement et le respect de l’environnement”, et appellent à développer, en “concertation” entre parties concernées, des politiques “locales” d’approvisionnement.

et la clientèle²⁹⁸. Malgré des divergences, administrations et ingénieurs, et même les carriers, admettent le besoin de planification territoriale pour continuer à extraire²⁹⁹.

A posteriori, le régime libéral et la planification dans le cadre communal, qui prévalent jusque 1970, sont reconnus insuffisants en ce qu'ils ignorent les besoins régionaux en granulat et empêchent de penser un réaménagement global. Les ZERC avaient pour but de dépasser ces contradictions. A partir d'une réflexion exhaustive sur le besoin d'approvisionnement et le "problème de protection de l'environnement", la procédure vise à établir un consensus local des élus, des administrations, des associations et des organismes professionnels, pour définir un schéma d'exploitation coordonnée des carrières³⁰⁰. Les ZERC doivent servir, outre la satisfaction des besoins locaux et régionaux de ces matériaux, "l'aménagement de l'espace en vue du choix rationnel des sites adoptés pour l'implantation des carrières, la prévision de l'utilisation de ces sites après l'exploitation et de l'impact des carrières sur l'environnement³⁰¹". Non seulement la localisation, mais aussi la vie future des carrières sont intégrées dans l'AT. Il s'agit donc d'un dispositif qui dépasse le sort individuel de chaque carrière et qui tente d'intégrer les exploitations dans un cycle d'utilisation du sol, c'est-à-dire de prévoir le devenir de l'ensemble de la zone après exploitation.

Dans cette planification, la ritournelle de la "concertation entre les parties³⁰²", voire la collaboration, est un outil clé de la désinhibition. Des élus et fonctionnaires de la région grenobloise, où les tensions ont été vives au début des années 1970, témoignent de ce virage. Ils expliquent que les conflits (la Colline Verte est évoquée) ont conduit à une "prise de conscience réelle des problèmes posés", chez toutes les parties intéressées (élus, administrations, carriers, agriculteurs, associations de défense de la nature), qui a abouti à la mise en évidence de la nécessité de planifier les extractions tout en prenant en compte les problèmes de réaménagement. Plus loin, ils se félicitent que "la nécessité de la planification et du respect de l'environnement" fasse "son chemin dans les esprits". Les auteurs défendent une politique locale du granulat qui prenne toutes les questions en charge : inventaires, études d'impact, transports et granulats de substitution³⁰³. L'inflexion est exprimée par Primel, ingénieur du LCPC : "alors que jusqu'à une date récente, on pouvait se contenter de délimiter les zones les plus riches en matériaux, puis de les exploiter, il devient maintenant indispensable de les concevoir dans un ensemble beaucoup plus complet³⁰⁴". Que les études se fassent dans

298. *Annales des Mines* (jan.-fév. 1973, p. 53).

299. Ceci est explicite dans un court-métrage intitulé "Granulats" réalisé par le LCPC (*Bull. liaison*, juin 1977). "Partant des données économiques générales et situant le problème dans le contexte de l'aménagement du territoire, le film montre la nécessité de plus en plus évidente de bien connaître les gisements à toutes les échelles, depuis le bilan régional des ressources jusqu'à l'exploitation ponctuelle. Il s'efforce ensuite de montrer la liaison entre la nature du gisement et les méthodes d'exploitation et d'élaboration qui en découlent (abattage, concassage, criblage, stockage) et conclut sur la nécessité urgente d'avoir une idée claire des impératifs liés à la fois aux contraintes et aux différentes utilisations (essentiellement bétons de construction et matériaux de viabilité), pour pouvoir, à l'échelon régional, promouvoir une politique rationnelle dans le domaine de l'exploitation des granulats."

300. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 44).

301. Berton et Primel, *op. cit.*, p. 1.

302. Ce mot s'imisce doucement dans les revues : "comment des différends entre carriers, d'une part, agriculteurs et défenseurs de la nature, d'autre part, peuvent être réglés par la concertation et la bonne volonté réciproque" (*Annales des Mines*, mars-avr. 1981, p. 173-178).

303. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 173-175).

304. *RFdG* (n°17, 1981, p. 22).

le cadre de ZERC ou par le biais de plans d'aménagement ou d'urbanisme, il s'agit bien, selon lui, "de pratiquer une politique prévisionnelle d'extraction, d'approvisionnement et de réaménagement". Le périmètre de la planification s'accroît encore, après avoir été purement économique, après avoir intégré les dimensions qualitative et quantitative des gisements, à toutes les échelles spatiales, et englutit le temps long de "la vie des espaces extractifs".

Réaménager les aménagements (d'effacer à valoriser)

Exigée par les opposants aux carrières³⁰⁵, pensée par l'administration depuis 1972³⁰⁶, la question du réaménagement constitue un élément clé de la pratique spatiale du Néolibéralisme. Le trait négatif de l'aménagement est non seulement effacé, mais rendu positif par l'idée de réaménagement, qui opère un glissement du débat de la phase d'ouverture vers celle de la fin de l'exploitation. Dès le début des années 1970, un ingénieur des Mines explique que le réaménagement peut transformer en avantage pour la collectivité "ce qui n'était jusqu'alors considéré que comme un inconvénient et un mal nécessaire". Son propos est explicite et prémonitoire. Il s'agit d'un "authentique travail d'aménagement du territoire" qui, partant des données sur le paysage, l'affectation initiale du sol et le gisement, cherche à optimiser l'exploitation du gisement tout en attribuant une nouvelle affectation du sol s'inscrivant dans un cadre d'ensemble³⁰⁷. L'idée d'un futur – rappelons que le réaménagement promu est prévu à un horizon de trente ans – enviable pour accepter un présent malheureux est développée dans diverses revues et colloques³⁰⁸. Le but est de maintenir l'activité : dans la mesure "où des travaux de réaménagement exemplaires seront réalisés, il n'est pas impossible que certaines interdictions d'exploiter puissent être levées" explique le BRGM³⁰⁹ ; les carriers comprennent que "pour garantir une certaine pérennité à leurs activités, ils se devaient d'assurer la réinsertion des terrains dans le milieu environnant en vue d'une nouvelle vocation des sols³¹⁰" ; un ancien président du comité de gestion de la taxe parafiscale, explique que les 2 000 ha de terrains stérilisés et impropres à toute utilisation qui ont été réhabilités ont notablement amélioré "l'image de marque des carrières" (sic) en quelques années³¹¹. Le "réaménagement des carrières" est l'outil présenté dans le Livre Blanc de 1977 pour concilier les besoins en granulats et les demandes des oppositions. La simple remise en état³¹² (ou réhabilitation) geste qui consiste à effacer les séquelles, laisse peu à peu place au réaménagement : les car-

305. Le fait que les carrières abandonnées se transforment en friches, décharges publiques, ou deviennent des espaces stériles est constamment mis en avant par les oppositions. Un article dans *Sites et Monuments* (juil. 1978, p. 62) dénonce que seules 61 carrières aient été réaménagées, représentant 865 ha, alors qu'il existe 10 000 carrières, soit 50 000 ha à réaménager.

306. AN, 20100079/61. Note sur l'aménagement et le réaménagement des carrières alluvionnaires et des décharges, décembre 1972.

307. *Annales des Mines* (nov. 1971, p. 140).

308. La première conférence lors de la réunion du comité français de géologie sur le "Réaménagement des carrières" en juin 1975 à l'École des Mines de Paris s'intitule "Problèmes d'aménagement de carrières dans la politique de gestion de ressources et d'aménagement du territoire" (*L'Équipement Mécanique*, avr. 1976).

309. Arnal, *op. cit.*, p. 6.

310. *PCM* (juin-juil. 1982, p. 35).

311. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 168).

312. L'idée de remise en état est discutée par les participants au premier congrès international pour la protection des paysages en 1909. "Pour les beaux rochers, il n'est pas question de vouloir fermer toutes les carrières, mais on peut modifier les points d'attaque, interdire des emplacements, conseiller des aménagements plus rationnels." Ainsi, un projet de loi en Belgique "vise les occupations temporaires et a pour objet d'astreindre

riers comprennent l'intérêt à se penser comme des producteurs ou valorisateurs, et non pas simplement consommateurs, d'espaces. Un conflit près de Lyon illustre cette mutation. Le plan de réaménagement des carrières, établi avec l'appui du service des Mines, a justement pour fonction de produire un nouvel espace. Le futur plan d'eau est rattaché à l'idée de zone de détente et de loisirs, soit à des affects joyeux, et devient un atout déterminant pour justifier la demande d'extension en surface. Le réaménagement est donc la clé de voûte de l'argumentation des carriers³¹³. Comme l'analyse le secrétaire du comité de gestion de la taxe parafiscale, la fonction du réaménagement va changer : d'élément d'une "politique des carrières", elle devient "instrument de l'aménagement du territoire". Il y a là bien plus qu'un seul souci de "préservation de la nature" en lien avec une "prise de conscience"³¹⁴.

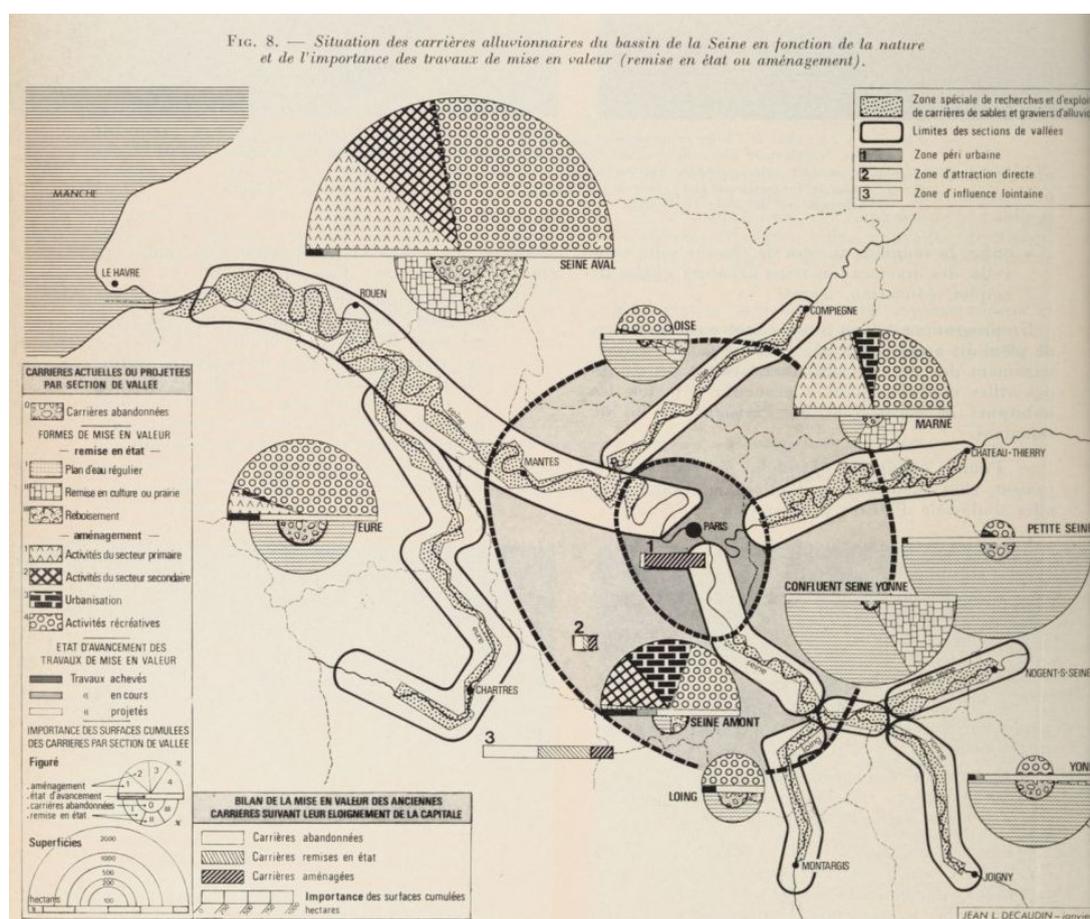


FIGURE 1.12 – Cartographie des réaménagements de carrières autour de l'IDF³¹⁵.

Carriers et élus reconnaissent que les "plaies sont particulièrement douloureuses tant qu'elles sont à vif". Par conséquent, il faut remettre en état, panser les plaies, effacer les les exploitants de carrières et les ravageurs de beautés naturelles à jeter un manteau de verdure sur leurs victimes lorsqu'ils ont achevé leurs méfaits." (*Sites et Monuments*, 1910, p. 37 et p. 59).

313. L'autorisation de forage y est délivrée pour des strates inférieures, et jusqu'au niveau du substratum. Le gisement accroît ainsi considérablement son potentiel utile, l'extension en profondeur permettant un gain d'environ 25 m : M. Vilain, « Irrigants et carriers, un conflit à l'issue exemplaire dans l'Ouest Lyonnais », *Économie rurale* 134.1 (1979), p. 27.

314. *Bull. AIGI* (1984, p. 263).

315. *Annales des Mines* (mars 1973, p. 24).

traces³¹⁶ – un objectif qui est relativement indifférent aux considérations écologiques³¹⁷. Un cas fréquent est celui où une exploitation des alluvions laisse subsister un plan d'eau : le carrier opère alors un profilage, un reverdissement et le boisement des berges. “En règle générale, on peut constater que plus un site est perceptible, plus l'implantation d'une carrière est considérée comme un conflit, indépendamment d'une analyse d'environnement globale³¹⁸”. L'impact visuel, par exemple un grand front de taille, semble être la variable déterminante pour le déclenchement des conflits, surtout pour les carrières de roches massives, qui deviennent majoritaires³¹⁹. C'est donc sur le paysage³²⁰, ou l'intégration paysagère, que les propositions seront les plus nombreuses, à commencer par celle qui consiste à simplement cacher le site d'exploitation par des plantations ou des merlons³²¹. La profession reconnaît et déplore les “cicatrices” ou “plaies béantes”, alors que ces espaces pourraient se transformer en des lieux de promenade, de détente, de sport ou de pêche³²².

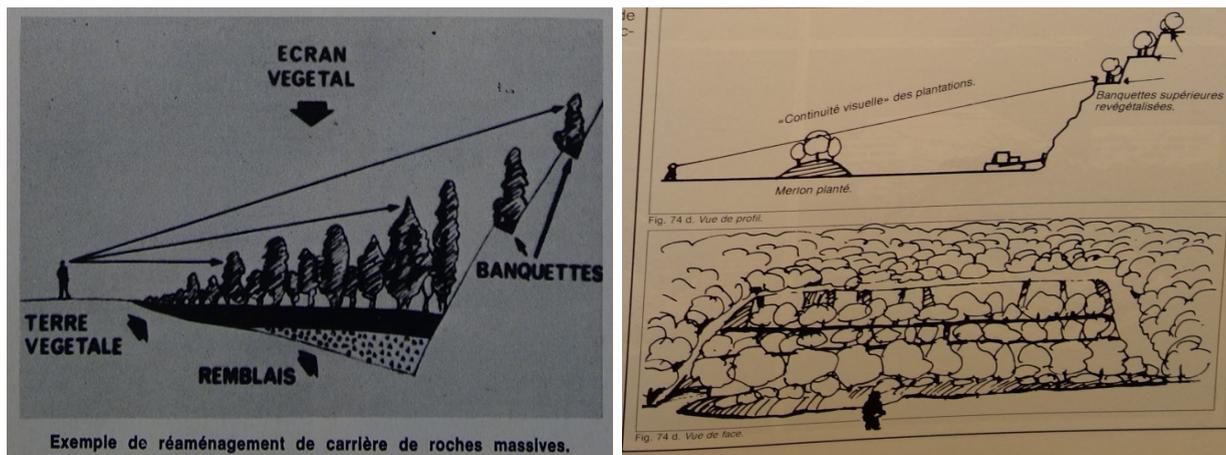


FIGURE 1.13 – Exemples de traitements paysagers³²³.

La fonction du réaménagement change progressivement : en plus de l'idée, susceptible d'être chargée d'affects négatifs, d'effacer les traces ou de remise en état, s'ajoute celle de la

316. *Annales des Mines* (mars-avr. 1981, p. 119).

317. D'après certains écologues, la question de remise en état et de restauration des carrières a des effets plus incertains que ce qu'en disent les carriers. Sans vouloir dédouaner les aménageurs, Julie Chenot montre que la biodiversité est plus riche dans les carrières non réaménagées que pour les autres dans la plaine de la Crau : Chenot, *op. cit.*, Simon Edelblutte explique que pour favoriser le retour de la végétation naturelle, une gravière doit vieillir et ne pas être entretenue afin que ses berges s'adoucissent et que des hauts fonds s'installent par alluvionnement lors des crues. Le plan d'eau peut ainsi devenir, à long terme, un milieu très propice à certaines espèces végétales ou animales. “Une absence de réaménagement et d'entretien serait donc moins traumatisante pour le milieu qu'un excès d'aménagement, pourtant bien plus répandu et imposé par la loi.” Edelblutte, « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" », *op. cit.*, p. 299.

318. *Bull. AIGI* (1984, p. 301).

319. *L'Équipement Mécanique* (avr. 1976).

320. Comme les auteurs jugent que les paysages sont des éléments trop subjectifs, ils cherchent à les quantifier objectivement (*Bull. AIGI*, 1984, p. 299-302). Les réaménagements paysagers amènent des discussions intéressantes sur la valeur d'un paysage : certains fronts de taille “valent la peine” d'être montré, d'autres, les plus nombreux, doivent être dissimulés.

321. CEMAGREF, *Les Carrières de roches massives : aménagements paysagers*, Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts, 1985.

322. *PCM* (juin-juil. 1982, p. 36).

323. A gauche : *L'Équipement Mécanique* (jan. 1980, p. 13) ; à droite : CEMAGREF, *op. cit.*, p. 33.

valorisation, chargée d'affects positifs, d'un site³²⁴. Dans les revues et les rapports, la profession et les administrations promettent non seulement de cicatrifier les plaies, mais aussi des réaménagements futurs qui créeront de la valeur (ou richesse) pour la société – “l'exploitation d'une carrière peut fort bien être le prélude à un aménagement dont la collectivité tirera avantage³²⁵”. L'argument est à ce point répété qu'on peut être conduit à penser que l'ouverture des carrières est destinée à améliorer les milieux et aider les habitants, et non pour permettre l'extraction. Le président du comité de gestion de la taxe parafiscale l'affirme ouvertement³²⁶ la carrière ne doit plus être perçue “comme une fin en soi mais comme un moyen de transformation de l'espace” (sic). Dans cette optique, quelques précédents réaménagements servent à justifier l'ouverture de futures carrières. Certains rappellent, ainsi, que de nombreux parcs parisiens sont d'anciennes carrières réaménagées, ou le fait que les bases nautiques et de plein air valorisent les sablières qui les ont précédées³²⁷.

Si les réaménagements agricoles, voire agroécologiques, sont promus³²⁸, c'est la production d'un plan d'eau pour la baignade, les sports nautiques ou la pêche qui est la plus mise en avant³²⁹. Les bases nautiques, dont les photographies, notamment en région parisienne (à Viry-Châtillon, Moisson Lavacourt, Cergy-Neuville, Jablines, Mantes-la-Jolie ou Bois-le-Roi), pullulent dans les revues, vont servir à charger l'imaginaire des carrières d'affects joyeux. A partir de 1991, le magazine de l'UNICEM affichera régulièrement en couverture des réalisations réussies et apaisantes de réaménagements. Signe d'une certaine hubris, d'un sentiment de maîtrise totale des aménagements, partagé avec les terrassiers (chapitre suivant), c'est un véritable catalogue que proposent ingénieurs, administrations et carriers (soixante types de réalisation dans le catalogue de Lafarge en 2004). Tous les types d'espaces peuvent être produits : agricole, sylvicole, base de loisirs ou nautique, zone écologique, ornithologique, pour la biodiversité³³⁰, ou toute autre chose³³¹. Pour aider les carriers dans leurs décisions, quelques économistes réalisent des calculs qui montrent que le réaménagement le moins coût-

324. Ceci équivaut à la distinction entre remise en état – “effacer l'aspect chaotique consécutif à l'exploitation et à rendre possible une utilisation ultérieure des terrains” – et aménagement, qui implique des travaux “permettant de valoriser les terrains bien au-delà parfois de la valeur initiale”. Le réaménagement se présente comme “la somme des deux opérations” et a pour objectif de “réaliser une réinsertion satisfaisante des sols dans l'environnement et, le cas échéant, la mise en valeur des sites prenant en compte les besoins de la collectivité” : Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (suite) », *op. cit.*, p. 195.

325. *Annales des Mines* (jan.-fév. 1973, p. 53).

326. *L'Équipement Mécanique* (avr. 1980).

327. C'est grâce aux carrières que ces espaces sont possibles : “Sans les carrières, elles n'auraient sans doute jamais été réalisées.” (*PCM*, juin-juil. 1982, p. 35).

328. Voir : *Le Granulat* (n°4 et 18) ; *L'Équipement Mécanique* (avr. 1982 ; 1985) ; *UNICEM* (oct. 2017) ; S. Vanpeene-Bruhier et I. Delory, « Réaménagement agricole des carrières de granulats : propositions d'amélioration de leur qualité pour une utilisation agricole durable », *Ingénieries* 24 (2000), p. 33-43.

329. Dès le milieu des années 1960 (*RGRA*, jan. 1967 ; *Le Granulat*, n°10 et 31 ; *Annales des Mines*, mars 1973 ; *L'Équipement Mécanique*, avr. 1976 ; Industrie Minérale et environnement, juin 1998).

330. Voir : *L'Équipement Mécanique* (1978) ; *Annales de la Voirie* (oct. 1984, avr. 1987) ; *Le Granulat* (n°14, 1980) ; *UNICEM* (juil.-août-sept. 1991, jan. 2006, juil. 2007, oct. 2008, jan. 2009). Une brochure sur l'économie circulaire s'oppose aux idées reçues : “l'extraction nuit à la biodiversité”, “l'extraction dégrade l'environnement” ou “l'extraction est une atteinte aux territoires”. Voir : MI-France, *L'économie circulaire au coeur des minéraux pour l'industrie*, Minéraux industriels, 2019.

331. Voir tous les numéros de la revue *Le Granulat* ; *L'Équipement Mécanique* (nov. 1974) ; *PCM* (jan. 1980) ; *Annales de la Voirie* (oct. 1986).

teux consiste à faire un étang de pêche à des fins récréatives ; celui qui améliore la “rentabilité sociale” (sic) consiste en un réaménagement agricole, avec subventions publiques³³².

Les législations successives sur les études d’impact depuis les années 1970 ont sensiblement développé l’ingénierie (et la restauration) écologique³³³ et participé à la création de nouvelles activités marchandes (bureaux d’études, paysagistes, etc.) qui ont pour mission de réparer les milieux abimés selon le répertoire de dégâts. Cette transformation se lit dans les nouvelles activités du patronat³³⁴, du BRGM et des entreprises³³⁵. Des écologues, hydrogéologues, hydrauliciens, paysagistes, aménageurs d’espaces, archéologues sont chargés de penser les “vies d’une carrière”. Depuis le décapage et le stockage des terres végétales d’origine jusqu’à la production d’un nouvel espace trente ans plus tard, toute la vie de la carrière est rationalisée, et la période d’exploitation présentée comme “occupation industrielle temporaire de l’espace³³⁶”. Chaque étape de la vie d’une carrière est désormais présentée comme une contribution à l’aménagement du territoire.

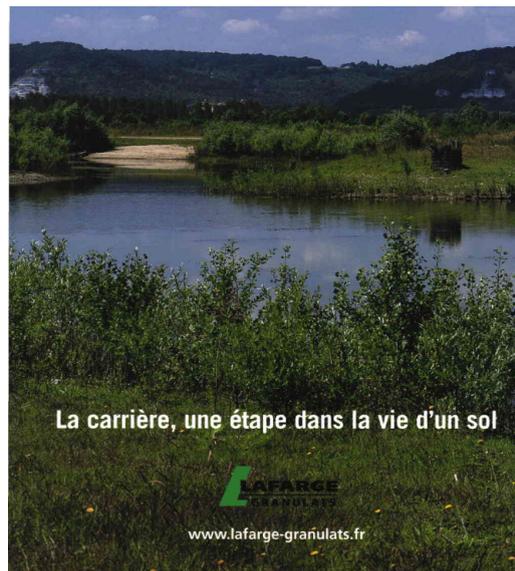


FIGURE 1.14 – Publicité de Lafarge Granulats (2004).

1.4.3 A bout de souffle : le Schéma Départemental des Carrières

Après le laissez-faire, jusque 1970, après une longue et tempétueuse période lors de laquelle s’accumulent décrets et lois, après qu’une certaine pensée holiste se soit imposée parmi les

332. Rainelli et Bonnieux, *op. cit.*

333. Celle-ci, proche de l’Écologie Industrielle, postule que des solutions aux problèmes environnementaux sont fondées sur la technologie disponible dans les systèmes naturels. Au sujet des influences des théories économiques sur cette idée et leur mise en œuvre, voir : H. Tordjman, *La croissance verte contre la nature : critique de l’écologie marchande*, Paris, La Découverte, 2021.

334. Suite à l’obligation des études d’impact en 1979, l’UNICEM crée l’ENCSEM (“Environnement carrières et matériaux”), association sans but lucratif qui doit rassembler et mettre à disposition de moyens d’études, élaborer des synthèses des expériences individuelles des professionnels (*UNICEM*, fév. 1980). De 1982 à 1985, elle réalise environ 100 études par an. En 1990, 243 études, dont 110 études d’impact, sont commandées aux huit antennes régionales de l’ENCSEM (*UNICEM*, juil.-août-sept. 1991, p. 111).

335. Les entreprises l’affirment : “on se considère comme aménageurs du territoire” (vidéo de présentation *Vicat*) ; “l’entreprise de production de granulats, essentielle à l’aménagement du territoire” (site Pigeon).

336. *Bull. AIGI* (1984, p. 323).

ingénieurs, commence le régime qui va absorber totalement les carrières, des inventaires à leur réaménagement, dans une politique départementale d'aménagement du territoire³³⁷.

Au tournant des années 1990, alors que l'extractivisme s'intensifie depuis 1985, avec les dégâts déjà évoqués, et que le paradigme du développement durable domine les débats (sommet de Rio en 1992), la pression pour faire cesser l'extraction dans le lit mineur devient insoutenable. Le point de bascule est annoncé par différents acteurs, alors qu'un projet de loi est en discussion³³⁸. D'abord, dans les initiatives de l'UNPG qui anticipe des réglementations plus contraignantes³³⁹, ou dans les demandes des associations de protection de la nature³⁴⁰. Les revues modifient sensiblement leur ligne éditoriale : alors que les articles portant sur les carrières des années 1950-1960 étaient obnubilés par la mécanisation et l'automatisation, ceux des années 1970-1980 par la crise et les premières lois, elles consacrent toutes, depuis les années 1990, une majorité d'articles sur les "questions environnementales" et le "développement durable". L'inflexion est repérable, enfin, dans les rapports commandés par le ministère de l'environnement³⁴¹, qui insistent plus que jamais sur les dégâts³⁴², et dont les conclusions convergent : il faut "limiter sévèrement les autorisations d'extraction dans le lit mineur des cours d'eau³⁴³"; faire cesser les extractions dans le lit mineur des cours d'eau dans un délai de 2 à 3 ans au plus et réduire de 2 % par an la part du granulat alluvionnaire dans la production totale (ce qui signifie que l'extraction absolue peut augmenter, mais moins fort que celle de roches massives) pendant dix ans³⁴⁴.

L'année 1993 marque, à bien des égards, une inflexion dans l'extractivisme ordinaire : pour la première fois depuis 1949, l'extraction de granulat alluvionnaire devient minoritaire (figure 1.2) ; en juillet 1993, le gouvernement, suivant les recommandations des rapports, décide l'arrêt des extractions de granulat dans le lit mineur des cours d'eau. C'est surtout la nouvelle loi du 4 janvier 1993, prolongement et aboutissement des réflexions et des lois discutées depuis 1970, qui marque une rupture en soumettant les carrières à la législation, plus

337. La première section du Schéma National Directeur du BRGM s'intitule "Une étude en accord avec l'aménagement du territoire"; "Les carrières et l'aménagement du territoire" représente un des thèmes du colloque de l'UNPG en octobre 1999. Voir : B. E. Odent, *Schéma Directeur National d'Approvisionnement en Granulats*, Rapport des travaux réalisés en 1995 sur la délimitation des ressources et sur la simulation de scénarios de production jusqu'à l'horizon 2015. Phase 1 n°R38914, BRGM, janvier 1996.

338. En 1987, une mission est chargée par quelques ministères de déterminer si les carrières doivent rester dans le Code minier ou pas.

339. En 1992, l'UNPG publie "dix propositions" et définit des devoirs propres à son industrie dans une "Charte Professionnelle" (*UNICEM*, fév.-mars 1999, p. 9). Ses objectifs, qui n'ont "aucune valeur réglementaire" : concertation et mise à disposition d'informations ; développement des techniques de réaménagement ; mise en place d'une démarche environnementale totalement intégrée dans la gestion des sites.

340. A la veille de la réforme, elles souhaitent un renforcement des prérogatives. C'est le cas de la Fédération Rhône-Alpes de Protection de la Nature (*La Lettre du Hérisson*, déc. 1991, p. 31).

341. A. Bouttier et al., *L'extraction de granulats dans le lit mineur et le lit majeur de certains cours d'eau (Dordogne, Garonne, Loire, Adour, Durance)*, Rapport au ministère de l'environnement n°91-326, Paris, octobre 1991 ; J.-Y. Hamon, G. Leynaud et J. P. Pertus, *L'exploitation des granulats marins et la cohabitation avec la pêche professionnelle*, Rapport de mission, juillet 1992.

342. La même liste revient : abaissement du lit et de la ligne d'eau, creusement et élargissement du lit, érosion régressive et progressive, mise en suspension de matériaux fins, augmentation de la turbidité, modification et parfois destruction de l'habitat aquatique, obstacle au déplacement des poissons migrateurs.

343. Mesure n°2 dans Bouttier et al., *op. cit.*

344. Barthélémy, *op. cit.*

contraignante³⁴⁵, des installations classées³⁴⁶. Elle généralise le régime d'autorisation avec étude d'impact et enquête publique à toutes les carrières. Alors que, dans le cadre du Code minier, l'autorisation d'exploiter ne pouvait être refusée par le préfet que si l'exploitation était susceptible de faire obstacle à l'application d'une disposition d'intérêt général, elle ne peut être accordée, dans le cadre des installations classées, qu'à la condition que les dégâts puissent être prévenus³⁴⁷. En outre, la nouvelle loi oblige les exploitants à constituer des garanties financières³⁴⁸ destinées à assurer, dans tous les cas, la remise en état des carrières après exploitation et limite, par ailleurs, l'autorisation d'exploiter à 15 ans (renouvelable une fois). Le point le plus important (article 16-3) concerne l'obligation d'un schéma départemental des carrières³⁴⁹ (SDC) qui doit être réalisé par la CDC. Les propositions facultatives des décrets des années 1970 sont rendues obligatoires : élaborer une politique départementale des carrières au travers de schémas (les anciennes ZERC) dans une commission où toutes les opinions sont présentes (la CDC qui prend une nouvelle dimension). Ce schéma définit les conditions générales d'implantations des carrières dans un département en prenant compte de "l'intérêt économique national, les ressources et les besoins en matériaux du département et des départements voisins, la protection des paysages, des sites et des milieux naturels sensibles, la nécessité d'une gestion équilibrée de l'espace, tout en favorisant une utilisation économe des matières premières" (article 8). Il répond en outre à la question du réaménagement en fixant les objectifs à atteindre en matière de remise en état et de réaménagement des sites.

Cette loi peut être perçue, puisqu'elle est plus contraignante et semble à ce titre combattue par les carriers, comme une nouvelle prise en compte des données scientifiques sur les dégâts ainsi que des revendications des opposants aux activités des carrières. Ainsi, l'extraction de roche meuble décroît doucement, jusque 2007, puis rapidement, pour atteindre 100 Mt en 2018, soit le niveau de 1964 (figure 1.2). Pourtant, cristallisation d'un rapport de forces inégal, cette loi légitime, comme les autres, l'extraction. Si la "forte augmentation" des contraintes a contribué à diminuer la production alluvionnaire, c'est aussi, plus prosaïquement, l'épuisement des gisements qui se fait sentir³⁵⁰. On peut même s'étonner, *a contrario*, que les niveaux restent si élevés : de 1970 (premier changement juridique notable) à 2018, il a été extrait, essentiellement dans les rivières, 9 Gt de granulats alluvionnaires – dont 4 Gt depuis la loi de 1993. Même si l'extraction de granulats marins augmente légèrement depuis les années 2000 (de 4 Mt à 7,5 Mt en 2013), la réalité reste bien en-deçà des espoirs suscités à la fin des années 1960. Il a tout de même été extrait au minimum 210 Mt de granulats en mer depuis

345. La réglementation minière implique dans l'ensemble des exigences moindres vis-à-vis des exploitants concernés par la loi de 1976 – qu'il s'agisse des sanctions administratives ou des conditions relatives à la modification d'une autorisation, ou encore d'une demande d'extension ou d'un renouvellement d'autorisation. De plus, l'administration ne dispose pas, à l'égard des carrières, de prérogatives assurant un contrôle permanent comme en matière d'installations classées. Voir : Untermaier, « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1^{ère} partie) », *op. cit.*

346. La situation juridique est extrêmement confuse : les carrières ont été incluses, par un amendement, dans le champ d'application de la loi du 19 juillet 1976 ; le gouvernement a ensuite refusé de les inscrire dans la nomenclature des installations classées pour les maintenir dans le Code minier. Voir : *ibid.*

347. *UNICEM* (numéro spécial, juin 1994).

348. L'accumulation de règles et réglementations contribue à la concentration du secteur. Les petites carrières ne disposent pas des moyens financiers pour mener les nombreuses études et les réaménagements.

349. Les granulats marins ne sont pas gérés dans les SDC car la mer ne relève d'aucun département terrestre, et que les gisements de granulats marins sont considérés comme des mines, donc soumis au Code minier.

350. Odent, *op. cit.*

1970 – l'économie française en a consommé sans doute autour de 260 Mt si on ajoute les importations. Le record historique d'extraction de granulats est établi en 2007, du fait d'une énorme hausse de la part des roches dures, avec une diversification des matières valorisées comme granulats. L'extraction du granulats marin est, à nouveau, préconisée dans un rapport de juillet 1992, pour une mission interministérielle, qui admet que les granulats marins sont "non renouvelables" tout en préconisant d'augmenter la production à 15 Mt/an³⁵¹.

1.5 Pourtant, ça extrait

Ce chapitre prouve que l'extractivisme n'est pas un processus totalitaire réservé à quelques matières extraites dans le Sud Global pour être exportées vers le Nord Global. L'extractivisme de sable n'est pas un problème de rareté solidaire de sphères illégales, de marchés noirs, de mafias en Inde, de pilleurs au Maroc ou au Cap Vert, et l'extraction de sable marin n'est pas qu'une folie qui sert à alimenter l'extension de Singapour³⁵². L'extractivisme existe depuis longtemps en France : ordinaire, local, diffus spatialement, conduit par des PME.

Cet extractivisme, reflet des grands projets de l'AT, a du faire face, comme les autres, à d'innombrables oppositions depuis son avènement définitif dans les années 1960. Sur longue période, il a pu se perpétuer en se métamorphosant grâce à la mise en place progressive de dispositifs légaux, qui ont absorbé une part importante des contestations et revendications³⁵³. De ce point de vue, deux pratiques spatiales sont bien identifiables à l'échelle métropolitaine³⁵⁴. Celle du Fordisme, le fameux "âge d'or de l'AT", a reposé crucialement sur un régime libéral d'ouverture des carrières, et de laisser-faire des dégâts³⁵⁵, avec une planification des inventaires. La pratique spatiale du Néolibéralisme a rencontré davantage de difficultés avant de se stabiliser. Comme les premières mesures d'atténuation des dégâts restent insuffisantes entre

351. Moins ambitieux, le rapport Barthélémy affirme qu'un "développement prudent" est possible "en s'assurant de leur innocuité vis-à-vis de la pêche et des mouvements de sables. Voir : *Annales des Mines* (fév. 1993, p. 71-72) ; Barthélémy, *op. cit.*

352. La production de Singapour grâce aux fonds marins et aux alluvions du Mékong est une excellente illustration de la coproduction d'espaces à l'échelle mondiale. La petite littérature sur l'extractivisme du sable insiste lourdement sur ces aspects et sur les pays du Sud Global, mais reste silencieuse sur les constructions que nourrit ce sable : A. Bisht et J.-F. Gerber, « Ecological distribution conflicts (EDCs) over mineral extraction in India : An overview », *The Extractive Industries and Society* 4.3 (2017), p. 548-563 ; V. Lamb, M. Marschke et J. Rigg, « Trading Sand, Undermining Lives : Omitted Livelihoods in the Global Trade in Sand », *Annals of the American Association of Geographers* 109.5 (3 septembre 2019), p. 1511-1528 ; A. Bisht, « Conceptualizing sand extractivism : Deconstructing an emerging resource frontier », *The Extractive Industries and Society* 8.2 (2021), p. 100904.

353. Ce mode d'existence est commun au capitalisme lui-même : L. Boltanski et E. Chiapello, *Le nouvel esprit du capitalisme*, Nouvelle éd., Paris, Gallimard, 2011.

354. Si la périodisation est la même, cette division ne coïncide pas avec celle de Frank Aggeri qui évalue les régimes de gouvernementalité de "l'environnement" au niveau européen et pour toutes les activités : F. Aggeri, « Les régimes de gouvernementalité dans le domaine de l'environnement », dans : *Gouvernement, organisation et gestion : l'héritage de Michel Foucault*, sous la dir. d'A. Hatchuel et al., Presses Universitaires de Laval, Sainte-Foy (Québec), 2005, p. 431-464.

355. Ceci converge avec la thèse de Sandrine Rousseau qui postule que le succès du Fordisme repose pour partie sur le "laisser-faire" qui a permis aux entreprises de saisir une rente sur l'environnement puisqu'elles avaient l'autorisation implicite de polluer sans encourir de risque financier à court terme : S. Rousseau, « Economie et Environnement : Une analyse régulationniste de la rente environnementale », Thèse de doctorat en économie, Université de Lille I, 2002.

1970 et 1993, son maintien a nécessité la mise en place d'une planification croissante, devenue intégralement territoriale, toujours plus "écologique" et "concertée", des carrières.

Cet extractivisme possède une autre propriété qui le distingue des autres : les espaces "fantômes", ici les carrières, sont clairement objectivées, depuis la fin des années 1970, dans toutes les politiques des pouvoirs publics. Alors que l'extractivisme de métaux est souvent rendu possible par la dissimulation des "externalités négatives" le long des chaînes globales de valeur³⁵⁶, et en particulier des effets sur les corps et les milieux que l'extraction affecte, l'extractivisme ordinaire est conduit en toutes connaissances de cause, au su et à la vue de toutes et tous. Les institutions qui le mettent en œuvre, ont encouragé, en parallèle, une production vertigineuse de savoirs sur ses conséquences. Ce n'est donc ni par manque de données ou ignorance des carrières, ni de coordination, ni d'indicateurs sur les flux de matières, que les dégâts ont été occasionnés. L'hypothèse que cet extractivisme a été rendu possible en dissimulant les carrières, ou par ignorance des flux, ne tient pas. C'est même tout le contraire. Les pouvoirs publics et les ingénieurs mobilisent des analyses spatiales du métabolisme des régions et départements depuis au moins cinquante ans sans que le niveau d'extraction ne baisse véritablement. En documentant toujours plus finement les dégâts, et en rattachant les phénomènes économiques aux écosystèmes, les ingénieurs s'inscrivent, implicitement, dans l'approche de l'Économie Écologique. Ce n'est donc pas "la faute" à une dématérialisation de la pensée des aménagistes que les gigatonnes de granulats ont pu être extraites³⁵⁷. De deux choses l'une. Soit "l'État environnemental" existe, auquel cas nous l'avons repéré dans sa gestion des carrières, mais il sert davantage de soutien que de frein à l'extractivisme. Soit il va advenir grâce à une délibération (habermassienne) éclairée par les données scientifiques sur les dégâts des activités économiques, et notre enquête suggère que cet espoir semble improbable, sinon relever de la pensée magique³⁵⁸.

Ce chapitre interroge, en pointillé, la question de la planification. Le régime qui commence au début des années 1990 planifie non seulement les carrières à chaque échelle administrative, mais également leur espace intérieur sur des décennies. Le réaménagement des carrières est non seulement une condition de l'acceptation de la carrière par tous, mais aussi un élément de la nouvelle pratique spatiale. Le mot d'ordre est clair : valoriser l'ancienne exploitation sur le long terme et permettre de combiner à la fois préservation de l'environnement et utilité sociale³⁵⁹. En supposant que les réaménagements soient appréciés localement, et parfois

356. L. Temper, D. del Bene et J. Martinez-Alier, « Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice : the EJAtlas », *Journal of Political Ecology* 22 (2015), p. 255-278.

357. Le cas de la région IDF est frappant : ses gisements, sa zone d'approvisionnement, les moyens de transport (jusqu'au nombre de camions par an), leur itinéraire, les carrières présentes et passées, les types de réaménagement, tout est connu et documenté de façon exhaustive depuis le début des années 1960. La thèse de la "dématérialisation" des théories, ou des représentations, comme responsable des dégâts, comme le suggère Antonin Pottier pour l'économie standard et le changement climatique, est donc remise en question : A. Pottier, « L'économie dans l'impasse climatique : développement matériel, théorie immatérielle et utopie auto-stabilisatrice », Thèse de doctorat en économie, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 2014.

358. Sur ce point, voir : Hausknost, « Decision, choice, solution », *op. cit.* ; A. Kenis, F. Bono et E. Mathijs, « Unravelling the (post-)political in Transition Management : Interrogating Pathways towards Sustainable Change », *Journal of Environmental Policy & Planning* 18.5 (2016), p. 568-584 ; M. Pichler, U. Brand et C. Görg, « The double materiality of democracy in capitalist societies : challenges for social-ecological transformations », *Environmental Politics* 29.2 (2020), p. 193-213.

359. Une illustration prototypique : "Réaménagement des carrières et maîtrise des risques environnementaux de l'industrie des granulats. Deux occasions de créer de nouvelles richesses" (*Bull. liaison*, juin 2000).

bénéfiques à la biodiversité, ce qui est évidemment contestable mais n'est pas impossible³⁶⁰, cette période combinerait simultanément une planification écologique du côté des espaces cachés et une production de grandes infrastructures qui reste noire/grise/brune (principalement au niveau des pratiques qu'elles encouragent). Ceci soulève la question démocratique³⁶¹ : ici la planification est conditionnée par l'exigence des besoins ("économiques"), exigence jamais contestée par des ingénieurs et administrations qui l'assimilent systématiquement à l'intérêt général. C'est dans ce cadre-là, indiscutable, dans lequel les opposants à la coproduction d'espaces ne peuvent s'exprimer, que l'extractivisme est planifié³⁶². Les mobilisations du type NIMBY sont, elles, entendues mais le plus souvent écartées dès qu'elles dépassent le périmètre de la discussion jugé acceptable – puisque il en va systématiquement de l'intérêt général de construire bâtiments et grandes infrastructures. Toute discussion politique de la planification, pour être pertinente, doit abandonner l'idée de concertation en vue d'un improbable "intérêt général" et discuter des espaces cachés des carrières en même temps que les espaces cachés des infrastructures – bref, de toute la coproduction d'espaces. Si ce type d'opposition n'a jamais disparu, si elle arrache parfois quelques victoires, elle reste objectivement minoritaire et n'a jamais été en mesure de renverser durablement la tendance³⁶³ au niveau national.

Si l'extractivisme se maintient par ces divers mécanismes (planification, concertation, documentation abondante pour optimiser les dégâts), sa poursuite est essentiellement une question de rapport de forces – y compris sur la définition des besoins. Tant que celui-ci reste favorable aux pouvoirs qui ont intérêt à construire et maintenir ces infrastructures (État, collectivités territoriales, multinationales³⁶⁴), il se perpétue. Les mobilisations, et les réponses du droit, donnent à voir un verrou : s'attaquer à un seul aspect de la coproduction d'espaces ne suffit pas à freiner l'extractivisme. Ainsi, l'incorporation des carrières dans l'AT a permis d'atténuer les oppositions qui dénonçaient l'implantation d'une carrière sans combattre, en même temps, le projet d'aménagement qu'elle devait servir. L'acceptabilité de l'AT demandait celle des espaces cachés. Progressivement on assiste à un retournement inattendu du sens des espaces cachés : c'est désormais le bâti qui est dissimulé, ou rendu abstrait, dans l'univers des carriers. Le développement d'études scientifiques dans le champ de l'ingénierie écologique a sans doute contribué à neutraliser les critiques de l'extractivisme.

360. Depuis 1992, au travers de sa Charte professionnelle, l'UNPG a multiplié les partenariats avec des associations naturalistes locales, des conservatoires régionaux et des grandes ONG environnementales (*Union Internationale pour la Conservation de la Nature*, *World Wildlife Fund*, Ligue pour la Protection des Oiseaux). Elle développe une "Stratégie nationale pour la biodiversité" qui se décline notamment par la publication de nouvelles recherches, dont certaines prouvent en effet que "les carrières constituent une opportunité pour la biodiversité". On retrouve ici la fonction de légitimation du dialogue comme stratégie de pouvoir : en coopérant avec de grandes ONG, les firmes bénéficient de leur légitimité. Voir : Chamayou, *op. cit.*

361. Voir : H. Bensussan, « Planification », dans : *Histoire Globale des Socialismes, XIXe-XXIe siècle*, sous la dir. de J.-N. Ducange, R. Keucheyan et S. Roza, PUF, 2021, p. 444-455.

362. Un ingénieur en chef des Mines se lamentait au début des années 1970 de la pression des opposants aux carrières quand ils adoptent des "attitudes extrêmes" et condamnent toute exploitation au nom d'"intérêts particuliers" (*Annales des Mines*, nov. 1971, p. 137).

363. Le cimentier *Calcia* a récemment renoncé à ouvrir des carrières (qui devaient servir aux chantiers du Grand Paris) dans le parc naturel régional du Vexin.

364. Pour la période la plus récente, quelques grandes multinationales jouent un rôle clé dans la production d'espaces : *Vinci* gère à la fois des carrières (via *Eurovia*, parmi les leaders du granulat marin) et les autoroutes.

L’extractivisme ordinaire est une histoire du présent. Quelques caractéristiques des années 1970 persistent : une impressionnante législation (y compris des écotaxes³⁶⁵) ; d’immenses gisements (y compris marins³⁶⁶) ; la stratégie patronale de publication d’études alarmistes (pour déplorer et contrer les réglementations³⁶⁷) ; la publication de milliers d’études d’impact, guides de bonnes pratiques et de rapports sur les bienfaits pour la biodiversité des carrières³⁶⁸ ; le mot d’ordre de “planification durable” et multiscale³⁶⁹. Depuis le début des années 1990, la pratique spatiale accorde toujours plus d’importance aux granulats alternatifs, en particulier ceux issus du recyclage, et à leurs espaces. A lire les ingénieurs, les administrations et le patronat, l’extractivisme pourrait doucement s’atténuer, voire devenir vertueux et circulaire, avec davantage de valorisation et de recyclage. Nous étudions les liens entre production d’espace, espaces extractifs et espaces-déchets dans le chapitre 5. Les deux chapitres suivants s’intéressent à l’évolution de la pratique spatiale à partir des transformations de la sphère de la production.

365. A peine évoquée par les carriers, la Taxe Générale sur les Activités Polluantes est étendue aux granulats en 2001. Elle doit inciter au développement du granulat “recyclé”. Le taux de taxation, fixé à 0,09 €/t est faible comparé à celui appliqué en Grande-Bretagne, où il avoisine 1,60 £/t en 2002. Voir : Chalmeton, *op. cit.*

366. Un nouvel inventaire a été réalisé sur la ressource en granulats marins (2005-2013). Sans prise en compte des contraintes d’ordre réglementaire, économique et technique, il aboutit à un total de 815 Gt. Des rapports favorables au développement de cette extraction, qui vantent ses atouts écologiques, sont récurrents. Le dernier en date propose de réduire le délai de la procédure d’instruction de 10 ans à 2 ans. Voir : Secrétariat Général de la Mer, *Extraction de granulats marins. Document d’orientation pour une politique nationale*, juin 2006 ; MEEM, *Guide méthodologique pour l’élaboration des Documents d’Orientation pour une Gestion durable des Granulats Marins (DOGGM)*, Ministère de l’Environnement, de l’Énergie et de la Mer, 2016 ; CGEDD et CGE, *Impact environnemental et économique des activités d’exploration ou d’exploitation des ressources minérales marines*, CGEDD n°011447-01 ; CGE n°2017/12/CGE/SG, 2017.

367. UNPG, *Carrières et granulats*, *op. cit.*

368. La taxe parafiscale, en tant que dispositif qui contribue à la normalisation et désinhibition, a été remplacée par des chartes d’engagement volontaire. La Charte professionnelle adoptée en 1992 par l’UNPG finance des centaines d’études. Celle-ci est élargie à tout l’UNICEM depuis 2004 : la “Charte Environnement des industries de carrières”, toujours pilotée par le “Comité National de la Charte” déjà mis en place par l’UNPG, a pour but de “concilier développement économique, respect de l’environnement et écoute des parties intéressées” (site internet consulté en novembre 2021). Voir : ECOSPHERE, *Carrières et zones humides. Le patrimoine écologique des zones humides issues de l’exploitation des carrières*, Union Nationale des Producteurs de Granulats, 1996 ; Charte Environnement des Industries de Carrières, *Catalogue des études. Édition 2006*, Comité national de la charte, 2006 ; ENCEM-CNC, *Carrières de roches massives. Potentialités écologiques. Analyse bibliographique et réflexions*, NP-C4-08-G, Comité national de la charte, octobre 2008 ; ces études, menées avec des ONG et organismes de recherche publics, soutiennent la campagne patronale de légitimation de l’extractivisme à destination du grand public : UNICEM, *Dossier de presse. Les carrières, une chance pour la biodiversité*, 28 octobre 2008 ; cette stratégie d’évitement de la régulation par la “soft law” est théorisée et développée depuis les années 1970 : Chamayou, *op. cit.*, chapitre 18.

369. Les Schémas régionaux des Carrières remplacent les SDC depuis 2020, en intégrant les ressources marines et issues du recyclage, la préservation de la ressource en eau et la question des transports écologiques. Une extraction en optimisant les dégâts reste la cible des derniers rapports.

Chapitre 2

Mouvements du facteur terre

A côté du granulat, la matière la plus importante dans le métabolisme des grandes infrastructures, et de l'économie française, est la terre. Produire l'espace après 1945, c'est d'abord produire de nouvelles géométries qui exigent le déplacement de milliards de mètres cubes de terre. Plonger dans la boîte noire qu'est la sphère de la production apporte un nouveau regard sur ce qui est produit depuis 1945. L'examen de l'activité de terrassement, si cruciale sur chaque chantier, et de sa transformation historique révèle une industrialisation de la production d'espace.

2.1 Terrasser une matière invisible

La première grande opération matérielle dans la sphère de la production de l'espace concerne les terrassements. L'objectif est de préparer le terrain afin de donner à la future infrastructure les caractéristiques géométriques la rendant compatible avec sa destination fonctionnelle. Des activités très diverses s'inscrivent dans cet univers : sonder, débroussailler, abattre, décaper, niveler, taluter, traiter, compacter, profiler. Au centre des attentions se trouve l'ouvrage en terre à réaliser : digue, barrage ou remblai, mais surtout une plateforme, dont la géométrie change radicalement après 1945. La focale porte ici sur les immenses volumes déplacés pour satisfaire les exigences de l'infrastructure projetée (la grande flèche rouge dans la figure 3) – les questions plus qualitatives, sur la stabilité des terrassements, sont abordées au chapitre suivant. Le chantier qui suit fournit une image de ce qu'est l'action de produire l'espace au début de la Grande Accélération.

2.1.1 Le 25 octobre 1952

Le 25 octobre 1952, le Président de la République, Vincent Auriol, accompagné de neuf ministres et de dizaines de diplomates, vient inaugurer la centrale électrique de Donzère – Mondragon. C'est une journée à finalité de propagande classique, qui se conclut par des feux

d'artifices : images grandioses¹, discours modernistes, odes au génie français², à l'indépendance électrique, au renouveau du pays et au redressement de l'économie³. Si d'autres missions lui sont assignées – réduire les effets dévastateurs des grandes crues, favoriser l'irrigation et faciliter la navigation sur le Rhône –, la finalité principale est bien sûr la production d'énergie⁴. Depuis sa construction jusqu'à aujourd'hui, Donzère a été l'objet de multiples recherches, en particulier dans son rapport à l'AT et la reconstruction de l'État-Nation après-guerre⁵. Produit d'une pensée aménagiste⁶, Donzère est présenté comme une "centrale cathédrale", "monument énergétique du capitalisme électrique"⁷. Ces études ont pour défaut de supposer le bâti "déjà là", comme si la production d'espace allait de soi. Aucune ne s'intéresse au chantier lui-même – à part Arnaud Berthonnet⁸, qui colle au récit de l'AT –, alors le plus grand d'Europe occidentale⁹.

Pendant cinq années, entre 1947 et 1952, on y trouve entre 2 000 et 7 000 ouvriers, majoritairement non-résidents : il y a beaucoup d'étrangers¹⁰ et 2 000 travailleurs viennent du chantier du barrage-usine de Génissiat (achevé en 1948). Comme l'hébergement dans les villages voisins ne peut suffire à loger les 2 500 ouvriers accompagnés de leurs familles,

1. Des films retracent ce chantier avec des louanges à n'en plus finir : "L'or du Rhône", réalisateur François Villiers, les films Caravelles, 1950. Ironiquement, ce film, qui reçoit un prix international dès 1951, a été financé par le Plan Marshall. La même équipe réalise : "Donzère-Mondragon", réalisateurs François Villiers et Pierre Jallaud, les films Caravelles, 1953 : Pritchard, *op. cit.*, p. 280.

2. Les turbines viennent du Creusot. Le pont à haubans et grande écluse sont pensées par Albert Caquot, "l'ingénieur du siècle" : J. Kerisel et T. Kerisel, « 1940-1976. Le créateur solitaire : fécondité dans les disciplines les plus diverses », *Bulletin de la Sabix [en ligne]* 28 (2001).

3. Comme Sara Pritchard le souligne, l'écart entre ce récit et les faits est béant puisque les travaux ont été réalisés avec du matériel étranger et largement financés par des fonds du Plan Marshall.

4. Environ 5% de la consommation d'électricité de l'époque : CNR, *60 ans : Donzère-Mondragon, symbole du relèvement national*, Lyon : Compagnie nationale du Rhône, 2012.

5. M. Bouchet, « Le Rhône, la C.N.R. et les autres », *Revue de géographie de Lyon* 55.3 (1980), p. 241-262 ; M. Bouchet, « De Donzère à Vaugris : 30 ans d'aménagement du territoire vus à travers les activités de la Compagnie Nationale du Rhône », *Revue de géographie de Lyon* 58.2 (1983), p. 185-201 ; J. Labasse, « L'aménagement du Rhône », *Le Globe. Revue genevoise de géographie* 125.1 (1985), p. 161-170 ; Pritchard, *op. cit.* ; Durey, *op. cit.*

6. La CNR s'inspire explicitement de la *Tennessee Valley Authority* qui est emblématique du *New Deal* de Roosevelt. Voir : A. Giandou, *La Compagnie nationale du Rhône, 1933-1998 : histoire d'un partenaire régional de l'État*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1999 ; Pouvreau, *op. cit.* ; S. Flaminio, « (Se) représenter les barrages : (a)ménagement, concessions et controverses », Thèse de doctorat en géographie, Université de Lyon, 2018.

7. Selon les mots de Fanny Lopez, dont le livre a pour couverture ce barrage. Lopez, *op. cit.*

8. A. Berthonnet, « Avec l'aménagement hydroélectrique de Donzère-Mondragon sur le Bas-Rhône (1947-1952), la France entre de plain-pied dans la période dite des « Trente Glorieuses » », *Revue du comité d'histoire du ministère*, "pour mémoire" 9 (2010), p. 121-137.

9. Quelques travaux d'époque le traitent dans le détail, avec un certain émerveillement. Voir l'épais numéro spécial de *La Houille Blanche* (mars 1955) ; P. George, « L'ouverture des chantiers du canal du Rhône, première phase de la transformation de la vie économique et sociale dans la plaine de Pierrelatte-Bollène », *Les Études rhodaniennes* 23.4 (1948), p. 215-225 ; J. Balensi, « Les grands travaux du Monde », *Revue des Deux Mondes* 70 (1952), p. 56-68 ; R. Dugrand, « L'aménagement du bas Rhône », *Annales de Géographie* 62.333 (1953), p. 368-373.

10. Environ 700 Nord-Africains. Mais aussi des Portugais, Espagnols, Italiens, Polonais. Voir les ouvrages (pédagogie Freinet) de la *Bibliothèque de Travail* : "Donzère-Mondragon" (n°166, oct. 1951) et "La peine des hommes à Donzère-Mondragon" (n°167, oct. 1951), et : George, *op. cit.* ; Dugrand, *op. cit.* ; CNR, *op. cit.*

huit cités sont construites le long du chantier¹¹. Les ouvriers travaillent, nuit et jour, 54 heures par semaine, dans des conditions très difficiles et dangereuses (notamment pour la construction des piliers qui exigent d'immenses caissons). Réunis spatialement, tant hors que dans la sphère de la production, ils s'organisent, manifestent, luttent pour de meilleures conditions de travail, sabotent et se mettent parfois en grève générale¹². Signe d'une réelle inquiétude, les renseignements généraux surveillent ces activités politiques et syndicales¹³. Si la compagnie vante sa politique de prévention¹⁴, le bilan est lourd : 81 morts sur le chantier. Deux spécificités contribuent à expliquer ce chiffre : des primes de rendement, calculées sur les cubes de terre déplacés et de béton mis en œuvre, incitent à travailler davantage et à rouler vite pour augmenter le nombre de voyages ; la présence de nombreuses nouvelles machines qui blessent ou tuent les ouvriers travaillant à leur proximité.



FIGURE 2.1 – Numéros de la *Bibliothèque de travail* dédiés à Donzère-Mondragon (oct. 1951).

Ce chantier donne un aperçu de la vaste transformation matérielle que constitue l'AT, encensée par de nombreux acteurs. A Donzère, il faut raser une centaine de fermes expropriées et 3 000 hectares, décapier le sol, régulariser la surface, niveler, arracher des arbres, etc. Un

11. Les cités, composées de pavillons ou dortoirs, sont destinées aux familles des travailleurs. Elles disposent de restaurants, pharmacies, salles de cinéma, buanderies, écoles, salle de fêtes, terrains de jeux, etc.

12. Les tensions sont fortes en mars et avril 1950, avec renversement d'une drague. Voir le témoignage autobiographique de Michel Lémonon, qui a travaillé deux ans sur ce chantier, aux caissons (pour les piliers des ponts). Pierre Hamp le fait apparaître dans son roman dédié à Donzère – Lémonon affirmera ne pas s'être reconnu dans ce livre. Voir : P. Hamp, *Kilowatt*, *La peine des hommes*, Paris, Plon, 1957 ; M. Lémonon, *Laurent ou l'itinéraire d'un prêtre-ouvrier*, Chrétiens en liberté, Paris, Karthala, 2000.

13. Archives du département du Rhône, cote 4434W259 (Donzère-Mondragon). Lémonon décrit sa participation aux grèves, le soutien des municipalités, des habitants de la région et la répression patronale.

14. L'Organisme Professionnel de Prévention du BTP demande aux services ministériels de mettre en place un dispositif d'organisation de la prévention sur l'ensemble des chantiers : CNR, *op. cit.*

observateur évoque le bruit, la poussière, les feux nocturnes des projecteurs qui “se sont emparés d’une campagne qui recherchait la notoriété par la culture des melons et des asperges”. La vie régionale est, selon lui, “profondément troublée par cet événement aux dimensions de cataclysme technique”. Il conclut pourtant par ces mots : “La géographie d’hier est périmée. Celle de demain est encore imprévisible¹⁵”. Comme pour d’autres chantiers hydroélectriques, il faut beaucoup de béton pour l’écluse, les ponts, l’usine, le barrage, la centrale, etc. Plus de 800 000 m³ sont produits dans des usines installées spécialement sur le chantier et coulés dans les coffrages assemblés sur place. Quantitativement, ceci paraît toutefois dérisoire au regard des 50 millions de mètres cubes (Mm³) de terre déplacés – avec une moyenne de 1,5 Mm³ de déblais par mois. La comparaison avec le canal de Suez¹⁶ est omniprésente (“Suez français”). De fait, c’est surtout le profil géométrique du canal de 28 km qui demande ces mouvements de terre : 10 à 12 m de profondeur et 150 m de large (figure 2.2). Ainsi, l’opération la plus importante en volume (45 Mm³), consiste à creuser le lit du canal et à déposer les déblais sur les bords pour former les digues¹⁷.

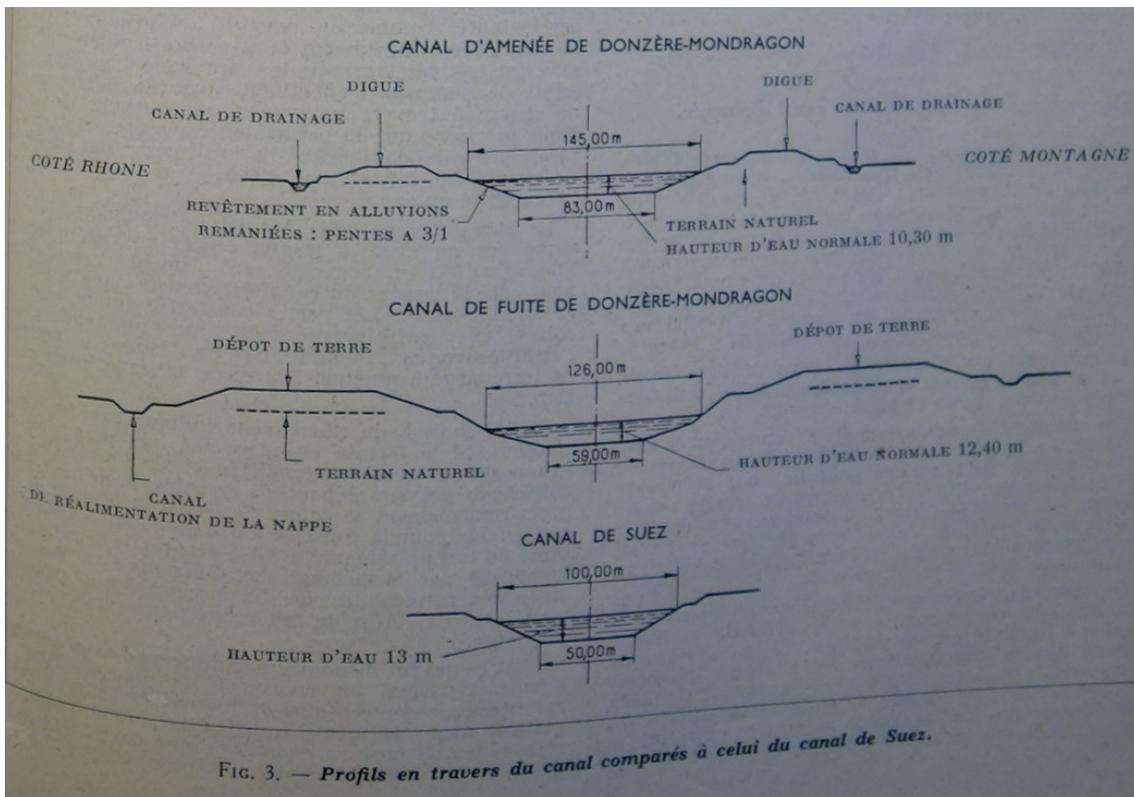


FIGURE 2.2 – Profils en travers des canaux de Donzère et de Suez¹⁸.

15. George, *op. cit.*, p. 225.

16. Au total, environ 75 Mm³ de terre lors du chantier du canal de Suez qui dure dix ans (1859-1869). Voir : Montel, « L’organisation du travail sur les chantiers de terrassement », *op. cit.*; *idem*, *Le Chantier du canal de Suez, op. cit.*; N. Montel, « Faire l’histoire des usages des objets techniques : formules, projets et pratiques. L’exemple des brouettes sur le chantier du canal de Suez (1859-1869) », dans : *Multicultural Science in the Ottoman Empire*, sous la dir. d’E. Ihsanoglu, K. Chatzis et N. Efthymios, De Diversis Artibus 69, Turnhout, Brepols, 2003, p. 173-180.

17. Les données sur les volumes proviennent de l’article des *Annales ITBTP* (série SF, sept. 1950).

18. *Annales ITBTP* (série SF, sept. 1950, p. 77).

Donzère est, à l'époque, le chantier le plus mécanisé jamais vu en France¹⁹. Schématiquement, les engins des terrassements, obtenus grâce à l'aide étatsunienne, qui consomment du gasoil en provenance de la raffinerie de l'Étang de Berre²⁰, sont de deux types : ceux qui excavent (pelles, draglines, dragues, etc.) et ceux qui transportent la terre (tombereaux, camions, wagons) – certains (les “scrapers”) font les deux opérations en même temps. Les valeurs des engins comme les capacités individuelles ou les rendements horaires, sont inédits – en particulier pour les dragues et draglines²¹, qui déplacent au total 38 Mm³. Le saut quantitatif est indéniable : un immense chantier hydroélectrique de l'entre-deux-guerres représente 7 Mm³ de terre à un rythme de 400 000 m³ par mois²².

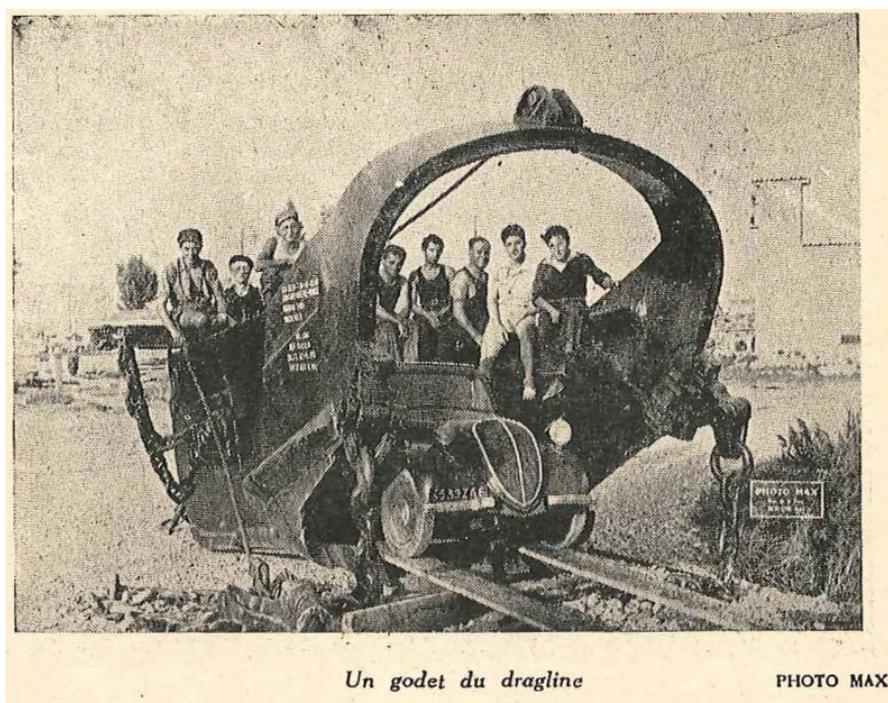


FIGURE 2.3 – Godet de dragline (6 m³) sur le chantier de Donzère (*BdT*, n°166, oct. 1951, p. 18).

2.1.2 *Terra incognita*

Donzère sert l'intrigue, mais l'intrigue n'est pas Donzère. Ce chantier est un condensé de l'époque qui naît, celle d'une intense production d'espace – qui commence par les grands aménagements hydro-électriques de la IV^e République²³. En aval de Donzère, viendront les

19. Il n'y a “nulle part des terrasseurs maniant pic et pelle” s'étonne Lémonon, *op. cit.*, p. 163.

20. Des camions citernes font le trajet nuit et jour par la RN7 : CNR, *op. cit.*, p. 26.

21. Alors que les plus grandes dragues du canal de Panama avaient une capacité de 200 m³/h, les draglines enlèvent 3 500 m³/jour, certaines 12 000 m³/jour, et les dragues 500 m³/h. Voir : *Travaux* (avr. 1950, nov. 1950) ; *L'Équipement Mécanique* (juin 1952, p. 12-13) ; Balensi, *op. cit.*, p. 67.

22. Chantier de Kembs sur le Rhin (*Le Génie Civil*, nov. 1930).

23. Environ 120 grands barrages construits, aussi bien dans les Alpes que dans le Massif Central, entre 1945 et 1960. Les aménagements hydro-électriques des rivières et fleuves, déjà bien entamés sur le haut-Rhône dans l'entre-deux-guerres, sont présentés comme un moyen décisif afin de renforcer l'autosuffisance énergétique. Le Plan Monnet prolonge en réalité un programme rédigé, et des travaux entamés, avant-guerre. Ils reçoivent le soutien du Corps des ingénieurs des Ponts et Chaussées, chargé des grands projets de barrages. J.-L. Bordes,

chantiers qui redessinent la nouvelle voie d'eau navigable de Lyon à la mer : Montélimar (1957), Baix-Logis-Neuf (1960), Beauchastel (1963), Pierre-Bénite (1966), Bourg-lès-Valence (1968), Vallabrègues (1970), Avignon (1973) et le Palier d'Arles (1974). Les volumes de déblais sont, à chaque fois, cinquante à cent fois plus importants que le béton ²⁴.

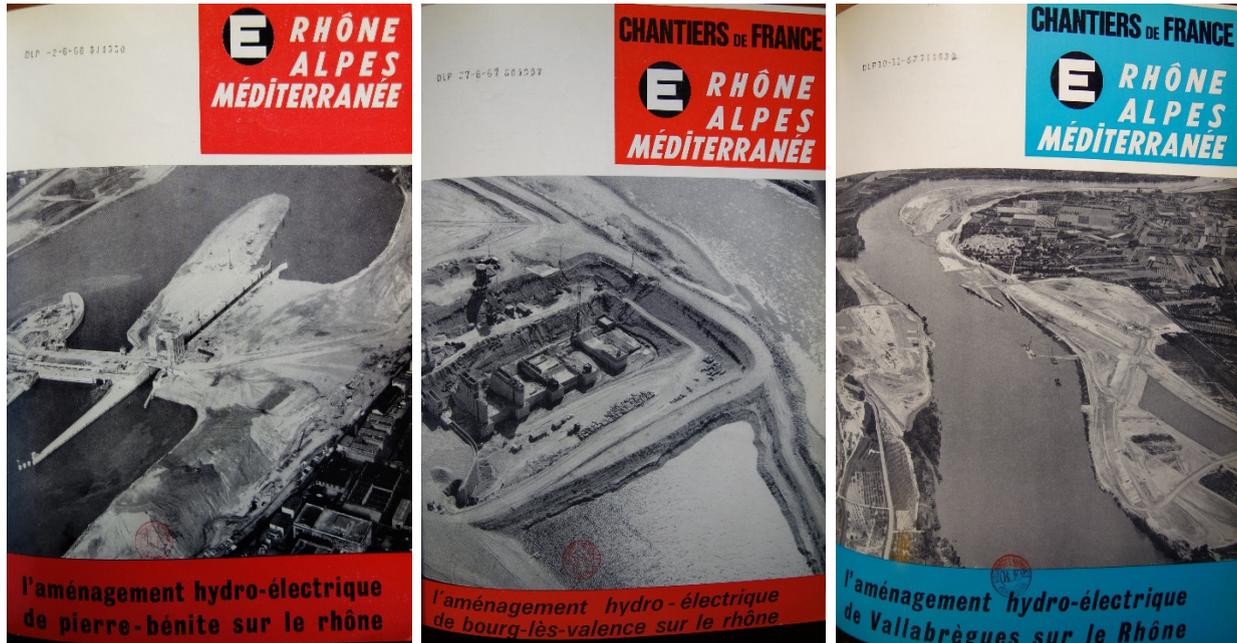


FIGURE 2.4 – Aménagements hydroélectriques sur le Rhône ²⁵.

Le chantier de Donzère – Mondragon a ses spécificités, mais la répétition de tels chantiers depuis 1945 suggère d'inclure ce moment dans la longue durée. Cette zone, située sur "l'épine dorsale" de l'AT, l'axe Rhin-Rhône, offre en effet un résumé des vagues d'aménagements depuis 1945. Sur une dizaine de kilomètres à peine, l'observateur de 2020 y rencontre : l'autoroute A6 ("autoroute du Soleil"), trois routes nationales (dont la RN7, la "route des vacances"), le Rhône aménagé, le canal de Donzère à Mondragon, la centrale nucléaire de Tricastin, des lignes à haute-tension, de nombreuses canalisations souterraines, deux pipelines (dont un oléoduc de l'OTAN), deux voies de chemin de fer (dont une LGV).

Ce qui frappe immédiatement, c'est le contraste, ou le paradoxe, entre l'importance du facteur terre dans tous les chantiers, et l'absence d'historiographie spécifique aux terrassements ²⁶. Les économistes ne s'y intéressent pas davantage, alors que ce secteur représente

« Les barrages en France du XVIIIe à la fin du XXe siècle. Histoire, évolution technique et transmission du savoir », *Revue du comité d'histoire du ministère*, "pour mémoire" 9 (2010), p. 70-120 ; K. Mamehara, « Du Plan Monnet au Plan Bettencourt : comment ont évolué la politique charbonnière et la politique énergétique dans les Trente glorieuses ? », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2016.

24. Au total, pour l'aménagement du fleuve Rhône entre Lyon et la mer, on compte 400 Mm³ de terre pour 8 Mm³ de béton (*Travaux*, spécial Congrès International des Grands Barrages, juin 1970, oct. 1970, mars 1976, p. 46). Pour le Rhin le rapport est de 1 à 100 : 130 Mm³ de terre déplacés et 1,25 Mm³ de béton (*Chantiers de France*, juil.-août 1970, p. 3). Pour un tronçon d'autoroute avec chaussées en béton : 12 Mm³ de terre et 300 000 m³ de béton (*RGRA*, jan. 1967, p. 72).

25. *Chantiers de France* (2ème trim. 1966, 2ème trim. 1967, 3ème trim. 1967).

26. Une exception en histoire économique : Dominique Barjot et la thèse de son étudiant Edy-Claude Okalla Bana, qui adoptent le point de vue des entreprises françaises, dans un récit très technophile et linéaire. D.

pourtant 12 à 20 % du chiffre d'affaire des entreprises des travaux publics²⁷ et un quart des coûts d'un grand chantier (voir plus bas). Comme d'autres flux sans valeur marchande, les mouvements de terre sont également exclus des comptabilités de l'Économie Écologique – *unused extraction* (voir annexe B). On a donc là un univers largement invisible des sciences sociales historiques. Cette absence oblige à considérer, sur un temps long, des questions triviales : quel est le niveau du volume de terre ? ; d'où viennent et où vont ces terres ? ; qui les déplace, et comment ? ; quels savoirs et techniques et quelles institutions les prennent en charge ? ; pourquoi cet écart, paradoxal, entre flux visibles et invisibles ? Nous montrons que le chantier de Donzère se situe au croisement de deux époques dont il présente quelques ingrédients : une sphère conflictuelle, du fait de la forte concentration de travailleurs organisés – ici Donzère représente le dernier souffle d'une époque ; le premier chantier avec des cadences jamais observées du fait des machines – ici Donzère n'est qu'un point de départ ; le début de la Grande Accélération, qui commence, donc, par les travaux hydrauliques.

L'enquête détermine d'abord un ordre de grandeur des volumes : dix milliards de mètres cubes déplacés en France depuis 1945 (section 2.2). Si le type d'infrastructures et le pouvoir aménageur changent, il n'existe pas de rupture nette entre Fordisme et Néolibéralisme. En comparant avec les époques antérieures et avec d'autres pays, nous démontrons que, à l'échelle mondiale, le Capitalocène, avant d'être soutenu par ces grandes infrastructures, est repérable par les mouvements de terre qu'elles exigent – un fait connu, de quelques spécialistes, depuis un siècle au moins. Dans la schématisation de l'économiste, produire une plateforme de terrassement requiert trois facteurs : K (capital – outils et machines), L (travail humain) et T (terre ou roche). La section 2.3 retrace l'histoire des transports de T qui est celle de la logistique des flux – une recherche permanente d'optimisation de l'organisation de la sphère de la production. Pendant des décennies, savants et ingénieurs font dériver l'utilisation des facteurs K et L de l'optimisation spatiale de T. Nous expliquons la lente et difficile substitution de L par K qui est un processus décisif dans l'industrialisation des grands chantiers. Si les puissantes machines constituent indubitablement la rupture majeure au sein du Capitalocène, en ce sens qu'elles conduisent à des cadences inouïes qui font baisser le coût de revient du mètre cube, nous montrons que les cadences sont aussi le fruit de petites transformations qui facilitent la vitesse de déplacement de T. Les conséquences socio-écologiques sont examinées dans la section 2.4 : fin d'un groupe social très actif dans les luttes contre la classe capitaliste ; désolidarisation entre problèmes d'optimisation physique et monétaire, avec des effets importants sur les reliefs ; hausse des dépôts et emprunts de terre et hausse des distances de transport. Le suréquipement, ou l'accumulation de K (fixe) par les producteurs, conduit à une forte concentration du secteur ainsi qu'à l'exigence de travaux permanents. Enfin, la section 2.5 résout le paradoxe de l'invisibilité du facteur T en relevant le processus, d'abord involontaire puis volontaire, d'invisibilisation des traces.

Barjot, « La grande entreprise Française de travaux publics (1883-1974) », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 29 (1991), p. 47-55 ; D. Barjot, « Mobilisation des entreprises de BTP et reconstruction des infrastructures : une première approche », *Histoire, économie et société* 18.2 (1999), p. 349-370 ; E.-C. Okalla Bana, « L'industrie française du terrassement (1830-1991) », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2010.

27. L'ensemble des activités de terrassement en France métropolitaine représentait 9-11 % du chiffre d'affaire des entreprises des travaux publics en 1972-76, 12 % en 1999, 15,8 % en 2010 et 17,9 % en 2018 : FNTP, *TP Informations 1971*, Enquête de structure, 1973 ; FNTP, *TP Informations 1974*, Enquête de structure, 1976 ; FNTP, *TP informations 2019*, Recueil de statistiques, 2020.

2.2 La production d'espace comme Capitalocène

“Terrasser, c’est modifier la face de la Terre. *Earthmoving, the most dynamic of industries*²⁸.”

À partir d’un travail de quantification historique, cette section montre que l’activité de production de grandes infrastructures est une caractéristique centrale du Capitalocène. Avant d’être une accumulation de bâtis, avant la circulation du capital et des marchandises, avant la production et la consommation de masse, le Capitalocène est, y compris en France, une ère de gigantesques mouvements de terre, supérieurs à l’érosion naturelle. En plus de repenser l’AT par ses flux cachés, nous expliquons l’écart avec la production d’espace au XIXe siècle, et montrons qu’il s’agit bien d’une ère globale. S’ils sont actuellement redécouverts par les chercheurs, ces flux interpellent certains acteurs : scientifiques, qui évaluent depuis un siècle ces mouvements, et un nombre important d’oppositions dans les années 1960 et 1970, qui visent le bulldozer comme symbole des destructions.

2.2.1 L’AT vu par ses flux cachés

C’est un fait solidement établi : le capitalisme repose historiquement toujours plus sur les flux cachés (hectares, énergie, matière, force de travail), très inégalement échangés, du commerce mondial²⁹. Il existe pourtant d’autres flux cachés, dits “domestiques” car internes à l’économie nationale, bien moins connus quoique tout aussi indispensables au capitalisme. Des immenses déblais miniers aux terres et roches déplacées lors des travaux de terrassement, en passant par les résidus de récoltes agricoles ou sylvicoles, des milliards de tonnes sont déplacés pour le fonctionnement et la reproduction des systèmes économiques. Notre étude prouve que ces deux types de flux cachés ne sont pas indépendants : les très grandes infrastructures qui soutiennent le commerce mondial demandent précisément de très grands travaux de terrassement. Si de nombreuses extrapolations sont réalisées, notre travail de quantification est largement historique en ce sens qu’il s’appuie sur des sources issues d’archives – et non pas sur une modélisation ou une estimation sur des bases monétaires³⁰. Cette quantification à partir des chantiers est d’une immense utilité (annexe B). D’abord, elle révèle un paradoxe : les données désagrégées sont précises et omniprésentes pour les mouvements de terre. Ensuite, elle fournit une idée de l’importance de la métrique et de la façon dont les volumes sont mesurés et approximés³¹. Enfin, elle rend compte des inquiétudes des ingénieurs à leur rencontre, et de leur façon de les penser et gérer.

28. Reverdy conclut ainsi ses “80 maximes sur les terrassements” (*RGRA*, fév. 1968, p. 87). Celles-ci fournissent un état des lieux de cet univers au milieu des années 1960.

29. A. Hornborg, « Towards an ecological theory of unequal exchange : articulating world system theory and ecological economics », *Ecological Economics* 25.1 (1998), p. 127-136 ; *idem*, *Global Ecology and Unequal Exchange*, *op. cit.* ; C. Dorninger et al., « Global patterns of ecologically unequal exchange : Implications for sustainability in the 21st century », *Ecological Economics* 179 (2021).

30. C’est le cas des travaux régionaux en France, qui utilisent un coefficient moyen de 2 685 tonnes de terre excavées par million d’euros de valeur ajoutée de la branche construction : CGDD-SOeS, *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*, *op. cit.*, p. 40.

31. Une remarque très importante : quand la profession évoque les déblais et remblais, il s’agit très souvent des mêmes matières. Quand on dispose des chiffres d’un chantier, on évite de compter deux fois la même terre en additionnant déblais et emprunts (logiquement égal à la somme des remblais et dépôts).

Depuis 1945, il a été déplacé dix milliards de mètres cubes (Gm^3) de terre en France métropolitaine – ce chiffre, construit à partir de données très détaillées, présentées en annexe B, n'est qu'un ordre de grandeur (*a priori* conservateur). Comment en rendre compte, au-delà des métaphores montagnardes³² ? Prenons l'axe rhodanien, où se situe Donzère, qui est prototypique de l'AT³³ – de Lyon à Fos, c'est probablement là qu'il a laissé le plus de traces. Voici un petit échantillon des plus grands chantiers : $400 Mm^3$ de terrassement pour les aménagements du Rhône en aval de Lyon pendant le seul Fordisme, $71 Mm^3$ pour le TGV Méditerranée, au moins $30 Mm^3$ pour l'autoroute "du Soleil"³⁴, $3,5 Mm^3$ pour la centrale nucléaire de Tricastin, etc. A l'embouchure du Rhône, sur le site de Fos-sur-Mer, un premier bilan, après dix ans de travaux, estime le total à $118 Mm^3$ dragués. La production de 7 500 ha (dignes, darses, bassins, etc.) exige, outre le remblaiement des marais, tout un ensemble d'infrastructures pour relier ce lieu au reste du pays³⁵. Ce parcours pourrait être prolongé sur la côte du Languedoc-Roussillon, où l'État promeut un aménagement touristique (une "Nouvelle Floride" titre Paris Match) et un poumon de "nature sauvage" en Camargue³⁶. Outre la démoustication, ceci revient à niveler le sol, construire des digues, des jetées, creuser les canaux d'irrigation, de drainage, remodeler les reliefs, etc. Et déplacer du sable : $6 Mm^3$ à la Grande Motte ; $7,5 Mm^3$, dont une bonne partie pour les marinas, à Leucate et Barcarès. Ce *travelling* peut être répété le long du Rhin, dans la zone de Dunkerque, de Paris au Havre, mais aussi dans les montagnes qui sont reprofilées à partir des années 1960 afin d'attirer un tourisme de masse (plan "neige"). A chaque nom inscrit dans un plan de l'AT, il est possible d'associer le volume de terre déplacée pour produire les géométries exigées par le futur bâti.

Comme une série temporelle est malheureusement impossible à établir, car les données sont attribuées à des chantiers précis, souvent par petits lots, qui s'étalent sur plusieurs mois ou années, il faut se contenter de grandes tendances. Parmi les gros mouvements de terre, on peut citer : les grands canaux (plus de $1\ 500 m^3$ par mètre linéaire à Donzère), grands ports (plus de 30 à $40 Mm^3$ par an pour le seul fonctionnement de l'ensemble), autoroutes ($100 m^3$ par mètre linéaire), LGV ($200 m^3$ par mètre linéaire), et centrales nucléaires (6 ou $7 Mm^3$ par centrale). Les données physiques des terrassements apportent un point de vue inédit sur l'AT et la production d'espace. Elles révèlent qu'il constitue, pour une large partie (environ un tiers du total), un dragage interminable de matières (comme à Donzère où c'est le moyen qui déplace le plus gros volume), mais aussi d'entretien et de reproduction d'espaces déjà produits – les canaux et surtout les grands ports. Ce constat conduit à un résultat clé de cette thèse : la pratique spatiale du Néolibéralisme inclut la transformation des espaces produits par la pratique spatiale du Fordisme (chap. 4). Elles soulignent également l'existence

32. Plus qu'un effet de style qui cherche à rendre vertigineuses les quantités concernées, ce type de métaphore reste pertinent pour souligner la tridimensionnalité, et donc la trace dans les reliefs, des chiffres.

33. La DATAR a toujours considéré l'industrialisation de l'axe rhodanien comme une nécessité historique, en mettant l'accent sur l'implantation de quelques activités "motrices" (sidérurgie à Fos, pétrochimie à Lyon) : Bouchet, « De Donzère à Vaugris », *op. cit.*

34. C'est justement entre Montélimar et Donzère qu'est mis en service, en juin 1968, le millièmè kilomètre d'autoroute (RGRA, déc. 2000).

35. Par exemple, $4 Mm^3$ pour l'autoroute A55 qui mène à Fos, et $1,4 Mm^3$ pour la route Arles-Fos (*Chantiers de France*, jan.-fév. 1971, mai 1972 ; *Travaux*, fév. 1975, p. 51).

36. Voir le numéro spécial : « Fos - Étang de Berre. Un littoral au cœur des enjeux environnementaux », *Rives méditerranéennes [En ligne]* 61 (2020), sous la dir. de C. Gramaglia et M. Duperrex.

d'infrastructures en terres comme les barrages³⁷. Principalement du fait des travaux hydrauliques (canaux, barrages, ports), qui impulsent la Grande Accélération, les volumes annuels de la période 1945-1980 seraient légèrement supérieurs à ceux de la période 1980-2020, mais avec une inflexion davantage qu'une cassure. Ceci viendrait confirmer, comme les chantiers des barrages du Rhône le suggèrent, qu'il n'existe pas de coefficient de proportionnalité entre les volumes respectifs de granulat et de terre – alors que l'extraction du premier suggère une production d'espace modérée jusqu'à la fin des années 1950, les terres déplacées indiquent une importante activité dès la fin des années 1940. Les années 1970, quand un certain nombre de grands programmes coïncident (apogée des autoroutes, début du programme nucléaire, derniers grands barrages sur le Rhône, grands chantiers urbains et périurbains), constituent sans doute la décennie la plus intense. Nos données nuancent, voire contestent, l'idée que l'AT s'achèverait au début des années 1980 – avec les lois de décentralisation et la crise économique. La majorité des autoroutes (la longueur totale passe de 4 862 km en 1980 à 10 000 km en 2000), la totalité des LGV, la grande majorité du parc nucléaire et les plus grandes extensions d'aéroports³⁸ sont construits après 1980. Dans les années 1990, alors que les plus grands donneurs d'ordre de travaux de terrassement restent EDF, la SNCF et les sociétés d'autoroutes³⁹, une nouvelle accélération s'observe du fait de la globalisation marchande, visible dans de nouvelles extensions des ports (nouveaux bassins pour accueillir des navires toujours plus grands, terminaux à conteneurs, terminaux méthaniers, digues), la hausse du tourisme et la concurrence accrue entre collectivités territoriales⁴⁰. Enfin, des centaines de petits chantiers, de l'ordre de 500 000 m³, dont certains sont rattachés au développement des métropoles, ont déplacé des centaines de millions de mètres cubes : métros⁴¹, périphériques, rocades, bureaux, zones commerciales, plateformes logistiques, entrepôts, stades, parkings, etc. Le Capitalocène se lit aussi dans cette prolifération d'aménagements de taille moyenne.

2.2.2 Les nouvelles géométries des plateformes

Le spectaculaire d'une époque a parfois pour inconvénient d'en exagérer l'importance et la nouveauté – ou laisser entendre qu'il n'y avait rien de comparable avant. Les XXe et

37. Exemples : Serre-Ponçon (volume de 14,1 Mm³), Mont Cenis (14,85 Mm³, dont la moitié d'enrochements) ou Grand Maison (12,9 Mm³). Voir : *L'Équipement Mécanique* (déc. 1966) ; Bordes, *op. cit.*, p. 96.

38. Au milieu des années 1970, une piste d'un grand aéroport, comme celui de Roissy, correspondrait à une surface de 500 000 m², soit autant que 25 km d'autoroutes (*RGRA*, nov. 1973).

39. *Terrassements & carrières* (1er trim. 1994, p. 8).

40. La mise en concurrence des collectivités territoriales (départements, métropoles, etc.), rendue possible par les lois de décentralisation, est une caractéristique de l'époque néolibérale où chaque entité se pense comme une entreprise en compétition avec les autres : P. Dardot et C. Laval, *La nouvelle raison du monde : essai sur la société néolibérale*, Poche / Sciences humaines et sociales, Paris, La Découverte, 2010 ; l'attractivité des territoires passe par des hypermarchés, des zones commerciales et logistiques – voire des petits aéroports pour attirer des compagnies *low-cost*. Pour les villes un "entrepreneuralisme urbain" est observé par : V. Béal et M. Rousseau, « Alterpolitiques ! », *Métropoles* 15 (2014).

41. Les réseaux de Lyon, Marseille, Lille Rennes et Toulouse sont très majoritairement postérieurs à 1980. Le Grand Paris Express représente 40 Mm³ de déblais – 400 à 500 Mt de déblais sont prévus entre 2015 et 2030 : P.-E. Loiret, « Penser & construire avec les déblais de terre, ressource principale de nos villes. Le cas de Cycle Terre, première fabrique européenne de matériaux issue du recyclage des terres du Grand Paris : Expérience de terrain/retour critique », *Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère [en ligne]* 11 (2021).

XXIe siècles n'ont pas le monopole des grands mouvements de terre. Au XVIIe, il existe des terrassements importants dans le vallon de Marly, pour y construire une résidence royale, au canal du Midi ou au canal de l'Eure⁴². Ces chantiers, d'abord ponctuels et exceptionnels, deviennent plus réguliers au XVIIIe et surtout XIXe siècle quand le pouvoir de l'État s'accroît sensiblement, que des dizaines de milliers de kilomètres de canaux, voies ferrées et routes sont construits, en même temps que le mode de production capitaliste, donc sa pratique spatiale, s'impose en France⁴³. Avant même le XXe, l'espace national est donc déjà fort équipé par d'immenses réseaux⁴⁴ et des milliards de mètres cubes ont déjà été transportés (annexe B). L'importance extraordinaire des terrassements pour l'infrastructure est alors évidente aux ingénieurs : c'est même une affaire d'État⁴⁵. En France, le Capitalocène se caractérise bien par des terrassements importants et réguliers, au contraire des périodes qui précèdent.

Ce qui change après 1945, ce sont les géométries des plateformes : la largeur des emprises et les profils (en long et en travers) des tracés. Or, schématiquement, plus le relief à produire est exigeant géométriquement, plus les mouvements de terre sont importants. Tant du point de vue de sa largeur, de sa pente, de ses rayons que de son épaisseur, une autoroute est sans commune mesure avec une route impériale – une LGV avec une ligne de chemin de fer importante au XIXe, un grand port maritime au tournant des années 1970 et ce qu'il était en 1920, etc. Si la première rupture métabolique (après 1830) des flux de terre dans la pratique spatiale tient au linéaire, la seconde (après 1945) est géométrique. Nous souhaitons démontrer ici que ces géométries aux apparences neutres sont bien le reflet de choix politiques quant aux usages et services attendus de ce bâti : dédier des voies exclusives à certains moyens de transport (automobiles ou TGV), souhaiter des vitesses plus importantes⁴⁶, déplacer davantage de marchandises, développer le commerce international, etc.

Prenons le cas autoroutier. En 1960, le Plan Directeur Routier, décide de la construction de 3 558 km d'autoroutes⁴⁷. Il s'agit d'un projet de transformations majeures qui vient satisfaire les partisans de ce type d'infrastructures, qui déplorent depuis des décennies le "retard" pris par la France par rapport à d'autres pays occidentaux, où des milliers de kilomètres sont déjà en service⁴⁸. Une autoroute, telle que définie par la loi du 18 avril 1955, est une voie

42. Les volumes sont : 1 Mm³ entre 1679 et 1686 pour le vallon ; 16 Mm³ "de Toulouse au port de Cette", selon Vauban ; 4 Mm³ avant le brusque arrêt des opérations au canal de l'Eure : J.-D. Vernhes, « Grands travaux d'aménagement du vallon de Marly », *Bulletin du Centre de recherche du château de Versailles*, Sociétés de cour en Europe, XVIe-XIXe siècle (2017) ; J. Christiany, « Mise en place des travaux du canal de l'Eure, septembre 1684-juillet 1685. Un ouvrage inachevé », *Atti e rassegna tecnica della società degli ingegneri e degli architetti in Torino* 42.1 (2018), p. 102-108.

43. J.-Y. Grenier, *L'économie d'Ancien Régime : un monde de l'échange et de l'incertitude*, Paris, Albin Michel, 1996.

44. P. Léon, « La conquête de l'espace national », dans : *Histoire économique et sociale de la France, tome 3, premier volume*, sous la dir. de F. Braudel et E. Labrousse, Paris, PUF, 1976, p. 241-274.

45. Dans la loi de 1842, évoquée dans la section IV de l'introduction, qui sépare infrastructure (à la charge de l'État) et superstructure (à la charge des compagnies), les terrassements figurent dans la première.

46. Un article sur les tracés d'autoroutes reconnaît que l'adoption d'une vitesse de référence plus faible offrirait de la souplesse dans le choix du tracé et permettrait d'éviter certaines zones sensibles – l'extrait précise : "si cette disposition est acceptable (sic) au plan économique" (*RGRA*, mai 1979, p. 66).

47. Ce programme figurait déjà pour partie dans le programme autoroutier établi par le Conseil Général des Ponts et Chaussées, approuvé par le ministère des Travaux Publics en 1955.

48. A. Barré, « Quelques données statistiques et spatiales sur la genèse du réseau autoroutier français », *Annales de Géographie* 106.593 (1997), p. 229-240 ; G. Reverdy, *Histoire des routes de France*, Que sais-je ?, Paris, PUF, 1995 ; *idem*, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.*

exclusivement réservée à la circulation mécanisée, libérée de tout accès direct des riverains ainsi que de toute intersection à niveau avec d'autres circulations⁴⁹, et qui doit répondre à une vitesse de base. Toutes ces exigences sont traduites dans leur géométrie et, par conséquent, sur les sols et les milieux. La pente ne peut dépasser 4 % et la perspective (ou le souhait) d'un fort trafic conduit les administrations à exiger des plateformes larges⁵⁰. Pour chaque kilomètre d'autoroute, c'est une dizaine hectares (emprise moyenne) qui doivent être aménagés⁵¹. En outre, le choix d'une vitesse de référence fixe celui des caractéristiques minimales à respecter aux points les plus délicats de l'itinéraire. Le simple passage de 120 à 140 km/h, entre la circulaire de 1958 et celle de 1962, augmente le rayon minimal des courbes en plan, qui passe de 750 à 1 200 m, et relève tous les virages pour tous rayons inférieurs à 4 500 m (contre 1 500 m auparavant⁵²). Du point de vue de cet ensemble de paramètres, l'écart avec la route du XIXe tient davantage aux rayons et largeurs qu'aux pentes⁵³. Dans le cas des trains, la grande vitesse exige une infrastructure dédiée puisque les trains de voyageurs rapides ne sauraient coexister avec les trains, plus lents, de marchandises⁵⁴. Exiger une pente faible, un rayon de courbure important (figure 2.5), des lignes droites rares⁵⁵, c'est *in fine* exiger de faire passer l'infrastructure dans n'importe quel milieu parce que le tracé le requiert (section 2.4.2 et chap. 3). L'interdiction de croisement des autoroutes et LGV avec d'autres voies implique des terrassements supplémentaires pour la production des ouvrages d'art – la moyenne pour une autoroute ou route nationale, vérifiée aussi pour les LGV⁵⁶, est d'un pont par kilomètre⁵⁷. Même en terrain favorable, sans remblai ni déblai d'importance, les exigences de franchissement des voies rencontrées et la nécessité des échangeurs et raccordements aux autres voies conduisent à un minimum de 70 m³ de terre par mètre linéaire⁵⁸.

49. La mention "sans croisement" ne figurait pas dans le projet de loi de 1952 : R. Lafont, *Les autoroutes, Que sais-je ?*, Paris, PUF, 1997, p. 45.

50. Il faut 34 mètres pour une autoroute avec deux chaussées à trois voies. En prévision de cette hausse, et de débit de 1 500 véhicules par heure par sens, certains tronçons sont construits avec deux chaussées à deux voies séparées par un terre-plein central de 12 m – l'ajout de deux voies réduirait cet espace à 5 m (*L'Équipement Mécanique*, jan.-fév. 1965, p. 46 ; jan.-fév. 1968, p. 51).

51. Sur 4 000 km de voies ferrées exploitées en 1853, la moyenne est de 3,4 ha : A. Moreau, *Traité des chemins de fer. Tome I : infrastructure*, Cours de construction Dixième partie, Paris, Fanchon et Artus, 1898, p. 540.

52. Voir : *RGRA* (jan. 1963) ; *Annales ITBTP* (série TP, jan. 1963, p. 1247). En 1971, quatre vitesses de référence sont proposées au maître d'ouvrage. Celui-ci peut choisir, selon le niveau d'aménagement souhaité, la topographie, et d'autres contraintes, une vitesse par grande section homogène (*RGRA*, mai 1979).

53. Les pentes doivent être inférieures à 6-10 %, en raison de la traction hippomobile, et des rayons supérieurs à 20 ou 30 m : E. Gonin, *Manuel pratique de construction*, Paris, J. Dejeu & Cie, 1877, p. 3 ; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 67-79.

54. *Travaux* (juin 1973, p. 6).

55. Au contraire de ce que certains pourraient croire, les tracés d'autoroutes sont pensés de façon à éviter la ligne droite car elle est jugée dangereuse pour les conducteurs qui s'assoupissent plus facilement. Un tronçon de 21,5 km de l'autoroute Nemours – Egreville contient plus de 13 km de courbes et la plus longue ligne droite ne dépasse pas 1,5 km (*Annales ITBTP*, série TP, jan. 1963, p. 1247).

56. La LGV Atlantique demande 290 ponts pour 280 km (*Travaux*, sept. 1986, p. 48).

57. Contre un tous les cinq kilomètres pour les autres réseaux. Ceci est vérifié sur de nombreux chantiers (*Le Génie Civil*, fév. 1963 ; *Annales ITBTP*, série TP, juil.-août 1967, p. 1097) et confirmé par un rapport récent : P. Chaize et M. Dagbert, *Sécurité des ponts : éviter un drame*, Rapport d'information n°609, Sénat, octobre 2019.

58. *Bull. liaison* (mars-avr. 1976, p. 8).

L'exemple des autoroutes met en exergue que la pratique spatiale du Fordisme doit composer avec des exigences sociales dont les traductions géométriques sont considérables. Le raisonnement est quasiment identique pour les voies ferrées⁵⁹, les canaux⁶⁰, les ports ou les pistes d'aérodromes⁶¹. Comme nous le verrons, ces géométries nouvelles et l'accroissement de superficie de la sphère de la production sont accompagnées d'une hausse des dépôts et emprunts de terre et de vitesses de construction plus rapides⁶². Après 1970, une grande accélération, et grande banalisation, s'observe – les volumes dans les plus grands tranchées sur les chemins de fer de France au XIXe, entre 250 000 m³ et 500 000 m³, sont du même ordre, ou inférieurs, que quelques pistes de ski ou un parcours de golf haut de gamme⁶³.

59. En 1973, environ 1 100 km des voies ferrées peuvent supporter une vitesse de 200 km/h (*Travaux*, juin 1973, p. 5). Il faut un rayon de 6 km et des pentes inférieure à 0,35 % (ou 0,35 cm par mètre) pour les LGV récentes. Au XIXe, les pentes et rayons minimums varient de 0,7 % et 800 m (ligne à grande vitesse de l'époque) à 4 % et 200 m (voie locale) : A. Graëff, *Construction des canaux et des chemins de fer. Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin. Analyse détaillée et classement méthodique des dépenses faites pour ces travaux*, Librairie scientifique, industrielle et agricole, Paris, E. Lacroix, 1861, p. 21 ; Evrard, *op. cit.*, p. 46 ; Gonin, *op. cit.*, p. 3 ; A. Debaube, *Procédés et matériaux de construction. Tome premier : sondages, terrassements, dragages*, Paris, Dunod, 1884 ; P. Frick et J.-L. Canaud, *Tracé et Terrassements*, Bibliothèque du conducteur de travaux publics, Paris, Dunod, 1903, p. 8-9.

60. Dans ce cas la pente est nulle. Au XIXe, des rayons des courbes peuvent atteindre 100 m et la largeur dépasse rarement 10 m : Graëff, *op. cit.*, p. 24 ; après 1945, les tirants d'eau et d'air (la hauteur libre sous les ponts, cruciale pour le développement du transport de conteneurs) sont plus importants, les écluses plus longues et larges, etc. Le canal construit à Donzère est, par exemple, beaucoup plus large et profond que celui de Suez, de sorte que le premier demande 50 Mm³ pour une vingtaine de kilomètres, le second 74 Mm³ pour 161 km : X. Bezançon et D. Devillebichot, *Histoire de la construction moderne et contemporaine en France*, Paris, Eyrolles, 2014, p. 133.

61. Un avion à réaction demande une piste de 2 700 m contre 1 800 pour le plus gros avion à hélice. La longueur des pistes double entre 1949 et 1959 : de 1 500 à 3 000 m (*Travaux*, mars 1959).

62. Il faut par exemple 18 ans pour le canal de la Marne au Rhin et le chemin de fer Paris-Strasbourg : Graëff, *op. cit.*, p. 246.

63. A. Guillemin, *Les chemins de fer*, 5ème édition, Bibliothèque des Merveilles, Paris, Hachette et Cie, 1876, p. 55.

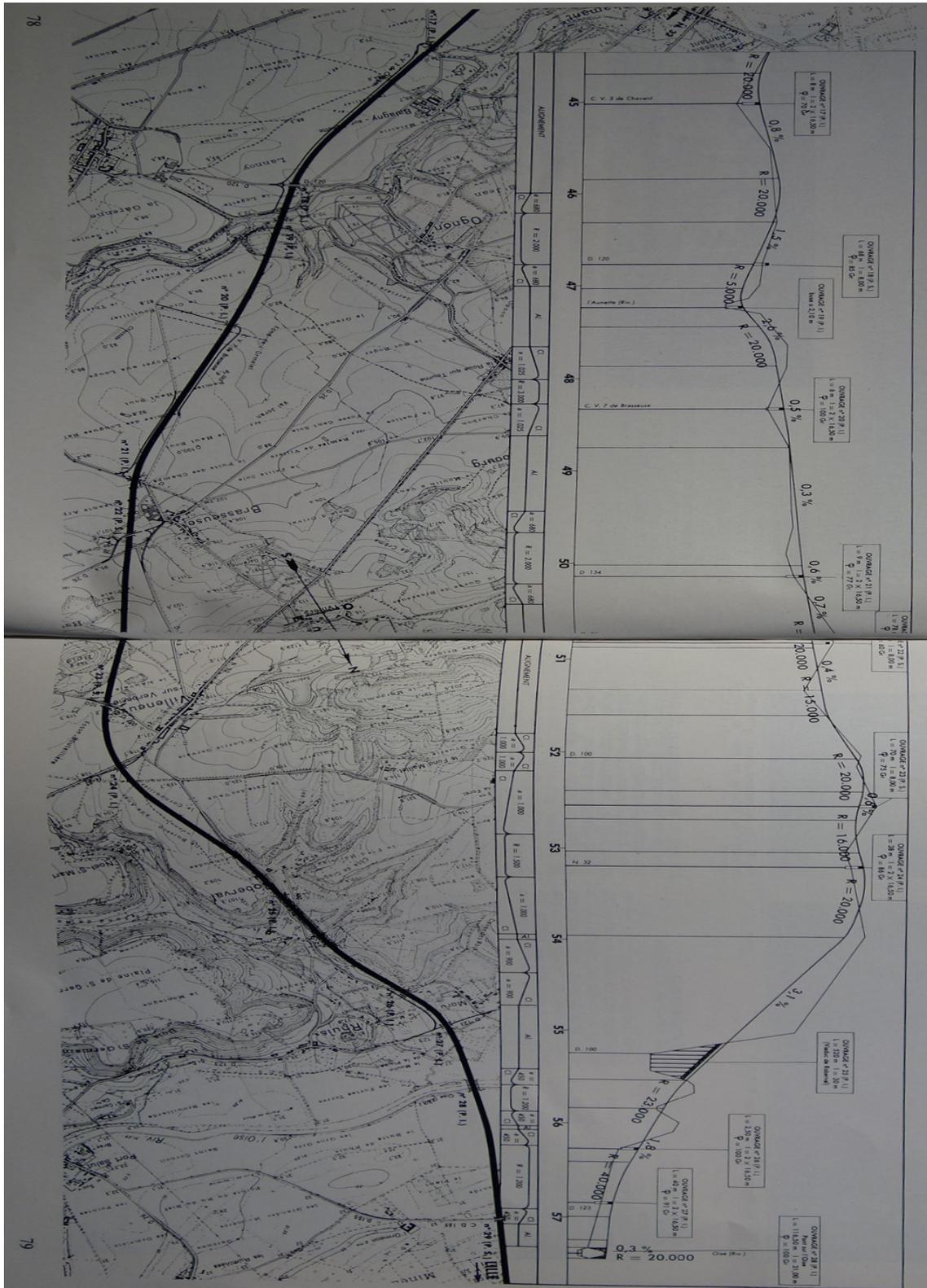


FIGURE 2.5 – Profil en long d’un tronçon de l’autoroute du Nord. Les pentes, rayons de courbures, ouvrages d’art, passages en remblai et en déblai sont indiqués⁶⁵.

65. *L’Équipement Mécanique* (avr. 1965, p. 78-79).

2.2.3 Stupeurs et tremblements chez les géomorphologues

Pour que la preuve du Capitalocène soit complète, il est nécessaire d'examiner brièvement où se situe la France, et l'époque de Donzère, au niveau mondial. Pour ce faire, nous mobilisons la science qui décrit et explique les formes du relief terrestre, normalement davantage intéressée par les "lois naturelles" : la géomorphologie. Comme la géographie, en particulier en France, celle-ci a pris plus de temps que d'autres disciplines à se troubler par l'arrivée sur le devant de la scène académique de la notion d'Anthropocène⁶⁶.

Son intérêt récent pour les transformations des reliefs causées par les travaux de terrassement⁶⁷ ne peut soutenir la thèse d'une nouvelle réflexivité environnementale rendue possible par de nouveaux instruments de mesure⁶⁸. En effet, quelques figures marquantes de la géographie furent parmi les premières à conceptualiser l'Anthropocène – y compris comme ère des terrassements de masse. L'un des premiers auteurs désigné comme "géographe social" (avec Elisée Reclus), George Perkins Marsh, publie en 1864 un ouvrage dédié à cette question (*Man and Nature. Or, Physical Geography as Modified by Human Action*⁶⁹), qui va inspirer certains mouvements conservationnistes et chercheurs, comme Lionel Sherlock. Celui-ci explicite l'idée d'une humanité comme force géologique dans son livre de 1922⁷⁰, commenté dès 1923 dans les *Annales de Géographie*⁷¹. Outre qu'il anticipe de 80 ans les débats sur l'Anthropocène, outre que le préfacier évoque déjà un possible changement climatique comme conséquence de la combustion de charbon⁷², c'est la première estimation du volume de matière déplacée entre 1500 et 1914. Le calcul intègre les déblais miniers, ainsi que les excavations nécessaires à la construction de canaux, chemins de fer, tunnels⁷³, routes et bâtiments. Sherlock aboutit

66. D'après Paul Claval, "la géographie physique qui se constitue en France est d'abord une géomorphologie. (...) Elle est le fait d'ingénieurs et de géologues, pas de naturalistes sensibles à la diversité des milieux". Une géographie environnementale, proche de l'écologie politique, ré-émerge depuis une dizaine d'années. Cité dans D. Chartier et E. Rodary, éd., *Manifeste pour une géographie environnementale : géographie, écologie, politique*, Académique, Paris, Presses de Sciences Po, 2016, p. 328.

67. E. Wohl, « Wilderness is dead : Whither critical zone studies and geomorphology in the Anthropocene ? », *Anthropocene* 2 (2013), p. 4-15 ; C. Giusti, « Deux dimensions du beau en géomorphologie. Essai sur le critère esthétique dans les sciences du relief », *L'Information géographique* 78.3 (2014), p. 80-102 ; E. C. Ellis, « Physical geography in the Anthropocene », *Progress in Physical Geography : Earth and Environment* 41.5 (2017), p. 525-532 ; A. G. Brown et al., « The geomorphology of the Anthropocene : emergence, status and implications : the geomorphology of the anthropocene », *Earth Surface Processes and Landforms* 42.1 (2017), p. 71-90 ; T. B. Larsen et J. Harrington, « Geographic Thought and the Anthropocene : What Geographers Have Said and Have to Say », *Annals of the American Association of Geographers* (2020), p. 1-13.

68. Fressoz, « « La fin du monde par la science » », *op. cit.*

69. Le livre, qui s'intéresse surtout à la déforestation et la désertification, a un message devenu aujourd'hui banal : l'humanité détruit sa propre base de subsistance – ou : la Terre, "par la faute de l'homme", est en train de devenir un habitat impropre pour l'homme : J. Bendix et M. A. Urban, « Nothing New under the Sun? George Perkins Marsh and Roots of U.S. Physical Geography », *Annals of the American Association of Geographers* (2020), p. 1-8.

70. L. Sherlock, *Man as a Geological Agent : An Account of His Actions on Inanimate Nature*, London, H. F. & G. Witherby, 1922.

71. A. Allix, « L'action de l'homme sur le relief : affaissements et comblements dans les régions minées d'Angleterre », *Annales de Géographie* 32.180 (1923), p. 564-566.

72. "prodigious combustion of coal and other carbonaceous substances, in producing more carbonic acid that can be eliminated by ordinary natural processes", may lead to "an unwelcome change in his atmospheric surroundings" affirme le préfacier Woodward dans Sherlock, *op. cit.*, p. 7-8.

73. Le total des déblais pour le métropolitain de Londres est de 5,5 Mm³ pour 66,9 km.

au total de 30,5 Gm³, dont la moitié est extrait des mines, et observe que c'est déjà davantage que les flux naturels d'érosion⁷⁴.

L'inauguration de Donzère s'insère bien dans la Grande Accélération du Capitalocène au niveau mondial. Après la Seconde Guerre mondiale, les immenses barrages (aux États-Unis, en URSS en passant par le Brésil) occupent une place particulière dans ces transformations. Symbole, ou signature, d'une époque, la couverture du magazine *Time* de mai 1954 est dédiée à un patron du génie civil et des travaux de terrassement, Harry Morrison⁷⁵ – dont un article fait l'éloge⁷⁶ avec les termes prométhéens usuels d'une pensée productiviste⁷⁷. Au niveau mondial, les flux naturels et anthropiques auraient justement été égaux autour de 1955 – les “humains” sont devenus la principale cause de transformations des milieux⁷⁸. Cette même année, de nombreux exposés s'alarment des dégâts écologiques causés par le “développement humain⁷⁹” lors d'une conférence interdisciplinaire en l'honneur de Marsh, organisée à Princeton, à laquelle assistent 70 personnes (dont Carl Sauer⁸⁰ et Lewis Mumford).

74. Dans ce pays, où le charbon a été extrait dans des proportions bien plus fortes qu'en France, ce sont les déblais miniers qui modifient le plus les reliefs : H. Schandl et N. Schulz, « Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day », *Ecological Economics* 41.2 (2002), p. 203-221 ; S. J. Price et al., « Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene : the significance of artificial ground in Great Britain », *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369.1938 (2011), p. 1056-1084 ; D. R. Butler, « Man as a Geological Agent : An Account of His Actions on Inanimate Nature, by Robert Lionel Sherlock, 1922 », *Progress in Physical Geography : Earth and Environment* 42.4 (2018), p. 530-534.

75. J. D. Duran, « Building the Modern World : Morrison-Knudsen Construction Company », Master thesis, Boise State University, 2013 ; C. S. Blanchard, « Changing the Face of the Earth : The Morrison– Knudsen Corporation as Partner to the U.S. Federal Government », Ph. D. thesis in Urban Studies, Portland State University, 2014.

76. Un extrait parmi d'autres. “Through the skills of Harry Morrison and other U.S. builders, economic progress has been given a mighty push. U.S. earth movers have shown the world that man need not be a prisoner of his surroundings, starving in desert lands or drowned by torrential floods. He can change much of the unproductive land to suit his needs (...) today, there is almost no project too big to tackle, no reasonable limit to reshaping the earth to make it more productive.”

77. S. Audier, *L'âge productiviste. Hégémonie prométhéenne, brèches et alternatives écologiques*, Sciences humaines, Paris, La Découverte, 2019.

78. Comme pour les stratigraphes, des débats existent entre géomorphologues sur le terme Anthropocène. Les grands forçages internes (tectonique et magmatisme) restent les plus indépendants de l'action humaine : Brown et al., *op. cit.*

79. W. L. Thomas, éd., *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago, University of Chicago Press, 1956.

80. Sauer est frappé par l'exploitation destructrice de son époque, dont la responsabilité revient à ce qu'il nomme “l'économie prédatrice” et qui se manifeste dans le Dust Bowl qui ravage les Grandes Plaines pendant la Grande Dépression. Voir : J.-M. Zaninetti et K. Mathewson, « La contribution singulière de Carl Sauer à l'émergence d'une sensibilité écologique en géographie », dans : *Manifeste pour une géographie environnementale*, Académique, Paris, Presses de Sciences Po, 2016, p. 205-226.

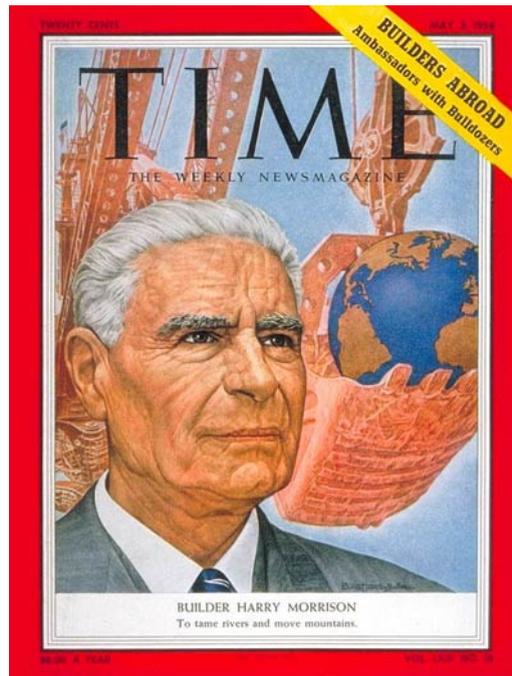


FIGURE 2.6 – Harry Morrison en couverture du magazine *Time* du 3 mai 1954.

Entre 1922 et 2011, une étude approxime le total à 8-9 Gm³ (ou 11 Gt dans leurs calculs) pour les seuls travaux publics en Angleterre⁸¹ – contre environ 3,5 Gm³ en quatre siècles pour Sherlock. Depuis 1945, au niveau mondial, les volumes des terrassements totaux (y compris miniers) ont augmenté à une vitesse exponentielle. Pour l'année 2015, en tenant compte de toute l'extraction de minerai lié au ciment, granulat, excavation et dragage, une estimation basse atteint 316 Gt (ou 150 Gm³) – dont 133 Gt associées aux terrassements et dragages –, soit plus de 24 fois les sédiments amenés chaque année par les grandes rivières aux océans⁸². Entre 2000 et 2015, la quantité de matière cumulée déplacée par l'humanité pour produire et reproduire l'espace est d'environ 3 700 Gt (à comparer aux 1 000 Gt extraite entre 2002 et 2015⁸³). C'est dans ce panorama mondial que s'insère le volume de 10 Gm³ évoqué ici – qui est modeste par rapport aux pays les plus extractifs⁸⁴. En plus de l'empreinte sur la basse atmosphère (changement climatique), l'action humaine a donc indubitablement transformé la surface de la toposphère⁸⁵.

81. Price et al., *op. cit.*, p. 1065.

82. Le dragage aurait été multiplié par dix entre 1990 et 2015. Voir : A. H. Cooper et al., « Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century », *The Anthropocene Review* 5.3 (2018), p. 222-229.

83. Krausmann et al., « From resource extraction to outflows of wastes and emissions », *op. cit.*

84. Les plus gros dégâts concernent les sables bitumineux au Canada ou le nivellement de centaines de montagnes aux États-Unis : M.-N. Carré et F.-M. Le Tourneau, « Les espaces-déchets, d'autres grands espaces américains », *Espace géographique* 45.3 (2016), p. 265-281 ; dès 1931, les déblais miniers annuels dépassent les 500 Mm³ en Allemagne : C. Moreau, *Le matériel moderne des travaux publics. Tome I : Terrassements*, Encyclopédie Industrielle & Commerciale, Paris, Eyrolles, 1934, p. 6.

85. Un indice du changement se constate dans le fait que certains services accordent une attention de plus en plus soutenue aux formations géologiques d'origine anthropiques. En Grande-Bretagne, les classes incluent les formations construites (digues, terrils), les déblais (tranchées routières, carrières), les remblais et les formations terrassées paysagères (remodelage du paysage) : Giusti, *op. cit.*

Le bulldozer comme point focal

Loin de l'abstraction des chiffres, de nombreux acteurs, au-delà des scientifiques, ont bien saisi ces bouleversements majeurs – et ont lutté contre la production d'infrastructures. Au premier congrès international pour la protection des paysages⁸⁶, en 1910, un participant déplore que le chemin de fer, “par des tranchées ou des remblais, déchire brutalement les apparences les plus charmantes⁸⁷”. Dès le départ, les oppositions contre les autoroutes⁸⁸ ou les barrages seront très fréquentes⁸⁹. Au vu des bouleversements provoqués par les machines, présentes dans d'autres espaces (champs, mines, carrières), ce n'est pas un hasard si elles vont polariser les résistances. Le bulldozer, engin omniprésent sur les chantiers de terrassement, va devenir, dans de nombreuses luttes, le symbole des destructions écologiques⁹⁰. Le choix de cet engin n'est pas fortuit : s'il n'est pas essentiel au transport et aux travaux de déblais et remblais, il est central pour les premières opérations (essouchement, débroussaillage, décapage, etc.), visuellement les plus marquantes⁹¹. Il permet de multiplier les constructions dans les terrains les plus variés : urbains et ruraux⁹² (où il sert aux opérations de remembrement qui bouleversent les paysages agricoles⁹³). Dans les années 1970, le DDE de Haute-Savoie évoque un “massacre systématique” – “Parce qu'il existe des bulldozers, on joue avec” – et que les choses seraient différentes “s'il fallait payer le terrassier à la pioche⁹⁴”.

86. Dès ses débuts, les membres de la SPPF, fondée en 1901, s'opposent régulièrement à certains tracés “lorsqu'ils s'attaquent à la beauté d'une région” ou “menacent le patrimoine (source, cascade, etc.)”.

87. *Sites et Monuments* (1910, p. 28).

88. Dès le premier tronçon du premier chantier autoroutier de France, l'autoroute de l'Ouest à la sortie de Paris, des voix s'élèvent contre les travaux de terrassement qui abiment la forêt de Marly. L'article de *Travaux* (jan. 1936), qui évoque ces voix dissonantes, minimise les dégâts qui concernent 16 ha “à peine”, en expliquant que les avantages sont supérieurs aux inconvénients (promenade bien plus accessible aux Parisiens).

89. J. Bethemont, « Le Rhône entre nation et région », *Géocarrefour* 72.1 (1997), p. 67-75 ; Charlier, *op. cit.* ; A. Dalmasso, « Ingénieurs et habitants autour des barrages alpins », dans : *Grands barrages et habitants*, sous la dir. de N. Blanc et S. Bonin, Paris, MSH-Quae, 2008, p. 141-153 ; Flaminio, *op. cit.* ; Durey, *op. cit.*

90. Les premières utilisations imprimées de ce mot proviennent des États-Unis dans les années 1870 et font référence à la violence raciste organisée dans la politique de l'après-guerre civile, particulièrement dans le Sud. Le terme “bulldozer” désigne toutes les méthodes violentes qui ont été employées pour priver les Noirs de leurs droits. En 1941, le journal anglais, *Illustrated London News*, situe l'origine du terme dans l'argot américain pour signifier ‘intimider ou contraindre’. Voir : R. Harrington, « Landscape with bulldozer : machines, modernity and environment in postwar Britain », dans : *Histories of Technology, the Environment and Modern Britain*, sous la dir. de J. Agar et J. Ward, UCL Press, London, 2018, p. 41-42.

91. De nombreux travaux académiques mentionnent sa présence comme synonyme de destructions : H. C. Perkins, « Bulldozers in the Southern Part of Heaven : Defending Place against Rapid Growth. Part 1 : Local Residents' Interpretations of Rapid Urban Growth in a Free-Standing Service-Class Town », *Environment and Planning A : Economy and Space* 20.3 (1988), p. 285-308 ; H. C. Perkins, « Bulldozers in the Southern Part of Heaven : Defending Place against Rapid Growth. Part 2 : The Alliance Strikes Back », *Environment and Planning A : Economy and Space* 20.4 (1988), p. 435-456 ; A. Rome, *The Bulldozer in the Countryside : Suburban Rise of American Environmentalism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001.

92. F. R. Ammon, *Bulldozer : demolition and clearance of the postwar landscape*, New Haven ; London, Yale University Press, 2016.

93. La destruction du paysage de bocage en Bretagne est attribuée aux bulldozers qui ont rasé 40 000 km de talus dans le seul département du Finistère, causant indirectement de graves inondations en 1973 et 1974 dans des villes comme Morlaix ou Quimper (*Hérodote*, 3ème trim. 1977).

94. *PCM* (jan. 1978, p. 23).

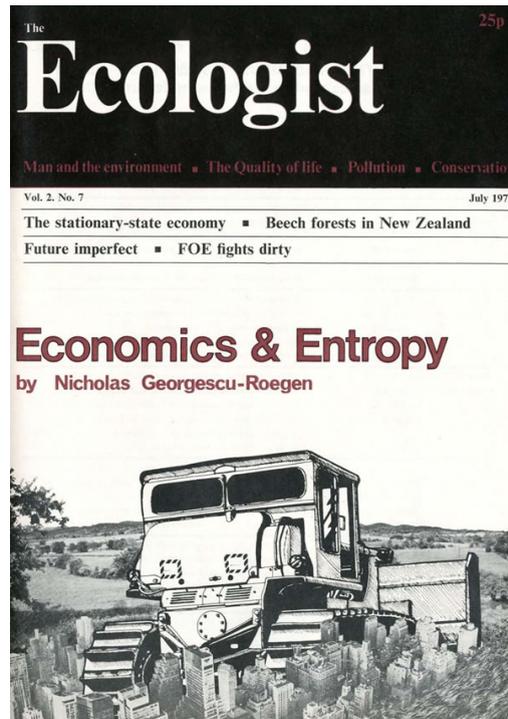


FIGURE 2.7 – Couverture du journal *The Ecologist* (juil. 1972).

L'affaire est mondiale. En Angleterre, le bulldozer devient l'emblème de la dévastation, menace du présent comme de l'avenir, après avoir été connoté positivement, présenté comme moderne et associé au progrès dans la période de reconstruction⁹⁵. En 1963, Lewis Mumford avertit : “notre époque sera connue par le futur historien comme l'époque du bulldozer et de l'exterminateur”. La construction d'une autoroute a, selon lui, à peu près le même résultat sur la végétation et les structures humaines que le passage d'une tornade ou l'explosion d'une bombe atomique⁹⁶. Au tournant des années 1970, cet engin, qui apparaît en couverture du nouveau journal *The Ecologist*, contribue à constituer le mouvement écologiste⁹⁷. Les comparaisons guerrières sont omniprésentes : “véritables chars d'assaut civils d'une armée en campagne⁹⁸”, “armes de destruction massive au plan géomorphologique⁹⁹”, etc. Ces technologies brutales¹⁰⁰ (*brute force technologies*) accompagnent simultanément une nouvelle production d'espace dans les secteurs miniers, travaux publics et agricoles – et caractérisent bien le Capitalocène comme Thanatocène¹⁰¹.

95. Harrington, *op. cit.*

96. Cité dans *ibid.*, p. 57.

97. Dans *Aménagement et Nature* (1972, p. 14), Charbonneau dénonce la destruction de la végétation “rejetée pêle-mêle à coup de bulldozer le plus loin possible sur les bas-côtés” lors des arrachages des lignes d'arbres qui intégraient les voie secondaires dans le paysage.

98. *PCM* (mai 1966, p. 86).

99. Giusti, *op. cit.*, p. 96.

100. Les tanks ont par exemple fourni un modèle pour le développement de multiples engins à chenilles utilisés pour la foresterie et les travaux publics : P. R. Josephson, *Industrialized nature : brute force technology and the transformation of the natural world*, Washington [DC], Island Press/Shearwater Books, 2002.

101. T. J. LeCain, *Mass Destruction : The Men and Giant Mines That Wired America and Scarred the Planet*, Piscataway, NJ, Rutgers University Press, 2009 ; Dunlap et Jakobsen, *op. cit.* ; Bonneuil et Fressoz, *op. cit.*, chapitre 6.

2.3 Machines et cadences

“Part of this change is due to the new machinery : the clanking bulldozers that knock down forests, the great draglines that claw house-sized holes at a single scoop, the cranes, jumbos, earth movers, power shovels, trenchers and dozens of other mechanical giants that lay pipelines, tunnel through mountains, and pour concrete for dams with the ease of a man putting down aside walk.” (*Time*, 3rd May 1954)

L'échelle planétaire du Capitalocène se rattache donc à l'échelle “locale” des chantiers. La mise en lumière de ce fait n'a été possible qu'en étudiant les flux “internes” à notre système – décrits comme extraction inutilisée par les analyses des flux de matières. Au-delà de la question clé du transport de granulat vers les chantiers (chap. 1), produire l'espace du Capitalocène est une question de transport de terre dans la sphère de la production. Cette section cherche à expliquer comment cet immense mouvement a été rendu possible. Revenir aux chantiers, et à ceux qui s'en chargent, permet de saisir une époque par des éléments concrets, et de rattacher solidement les volumes abstraits à la façon dont la terre est extraite, transportée et profilée. La principale rupture, dans l'histoire des terrassements après 1945, tient aux machines. Elles répondent au souhait d'industrialiser les chantiers des travaux publics, comme ceux du bâtiment, et créer une autoroute comme un ouvrage de grande série et à un rythme industriel¹⁰². De l'avis des ingénieurs, elles soutiennent les nouvelles géométries, et “l'existence même des autoroutes”, en multipliant les cadences journalières de volumes déplacés par plus de cinquante. L'apparition de foires annuelles dédiées et leur omniprésence, et sempiternelle célébration, dans les revues¹⁰³, que ce soit par les numéros spéciaux (figure 2.8), la publicité et les articles qui décrivent leurs performances sur les chantiers, sont des signes qui doivent être pris avec autant de sérieux que de précautions. Il s'agit d'éviter l'écueil de la fascination des acteurs (ingénieurs, industriels) et des quelques travaux historiques technophiles¹⁰⁴, et de comprendre ce qui réellement permet les importantes cadences. Nous déplaçons d'abord la quête permanente d'optimisation qui anime les responsables des chantiers et les savants et qui a conduit à développer de nouveaux savoirs logistiques (2.3.1). Une analyse minutieuse révèle que les machines ne sont pas indispensables au transport des milliards de mètres cubes. Si elles sont régulièrement présentes sur les grands chantiers depuis les années 1880, la hausse de leur puissance n'implique nullement leur domination (2.3.2). Nous expliquons pourquoi précisément les cadences deviennent si élevées à partir des années 1950 (2.3.3).

102. Dans une conférence du 3 mai 1962 sur les formes des autoroutes, un ingénieur des Ponts et Chaussées explique qu'elles doivent être répétitives : “Un raccordement progressif reliant un alignement droit à une courbe de 2 000 m de rayon présentera la même configuration à Strasbourg et à Brest” (*Annales ITBTP*, série TP, jan. 1963, p. 1246).

103. Les revues publient abondamment sur ces salons : EXPOMAT, le salon international du matériel de travaux publics et du bâtiment, créé en 1958, disparaît avec la création d'INTERMAT en 1988 ; BATIMAT, le salon international de la construction créé en 1959 (devenu le Mondial du bâtiment). Parmi celles qui accordent le plus d'importance aux engins : *Travaux* (dont le directeur devient commissaire général du salon EXPOMAT), *L'Équipement Mécanique* et *Chantiers de France*.

104. La “modernisation du territoire” (sic) est décrite comme une conséquence du progrès des engins par Okalla Bana, *op. cit.* ; voir aussi : H.-H. Cohrs, *The Classic Construction Series – 500 years of Earthmoving*, Wadhurst, 1997.



FIGURE 2.8 – A gauche, inauguration d’EXPOMAT ; à droite, un dossier spécial annuel sur les matériels de travaux publics ¹⁰⁶.

2.3.1 Optimisations

“L’organisation d’un grand chantier de déblai est un problème des plus complexes, car elle embrasse à la fois l’étude des transports et de l’emploi des produits. Le calcul de la distribution des terres doit être fait en tenant compte non seulement de la nature des matériaux, de leur foisonnement et de leur tassement, mais aussi des prix de transport et des limites que ces prix imposent à l’emploi des déblais ¹⁰⁷.”

Si nous disposons de chiffres aussi précis sur les volumes, c’est que les terrassements ont un coût élevé. Le pourcentage, qui inclut souvent le drainage, dans les grandes infrastructures de transport dépasse souvent les 25 % du total des travaux ¹⁰⁸ – un taux qui reste inchangé avec l’arrivée des machines ¹⁰⁹. Pour les chemins de fer du XIXe, la part des travaux de terrassement dans le coût total varie de 15 à 33 % selon les lieux, les reliefs et la géologie ¹¹⁰.

106. A gauche : inauguration d’EXPOMAT (*L’Équipement Mécanique*, 1958). A droite : le dossier spécial annuel sur les matériels de travaux publics (*Chantiers de France*, mars 1978).

107. E. Pontzen, *Procédés généraux de construction : travaux de terrassement, tunnels, dragages et dérochements*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, J. Baudry et Cie, 1891, p. 110.

108. Le prix du mètre cube de terrassement est sensiblement plus élevé pour un chemin de fer (Paris-Strasbourg) que pour un canal (Marne-Rhin) : Graëff, *op. cit.*, p. 254.

109. Ce qui fait dire à Reverdy que “si la peine des hommes a bien été économisée depuis le siècle dernier, ces grands travaux [de terrassement] coûtent toujours chers” (*RGRA*, jan. 1974, p. 34).

110. L’enquête réalisée en 1856 par le ministère des travaux publics fournit une moyenne des dépenses de construction de 4 063 km de grandes lignes de chemin de fer. La part combinée des terrassements et ouvrages

Pour une autoroute, la part des terrassements est supérieure à celle de la chaussée et varie du cinquième au tiers du prix de revient¹¹¹. Pour la construction des LGV hors ville, le pourcentage atteint 45 % du total¹¹². Les opérations sont très variées (fouille, chargement et déchargement, compactage, dressement des talus, stockage, engins, etc.) de sorte que ces indications moyennes masquent d'importantes variations, en fonction du type de matière¹¹³, du relief et de la localisation¹¹⁴. Nonobstant cette diversité, le coût est en général proportionnel au volume déplacé, qui doit être précisément déterminé sur chaque chantier.

Si les terres n'ont aucune valeur marchande, les volumes sont si considérables que la logistique de leur mouvement est au cœur des préoccupations : une économie de "quelques centimes par mètre cube" de terre fouillée et transportée peut avoir un impact conséquent¹¹⁵. Par conséquent, le prix de chaque mètre cube de déblai est décomposé sur chaque section de chaque chantier selon les prix des opérations. Du point de vue physique, les encombrants volumes imposent des questions concrètes qui sont toutes rattachées à leur transport – en général plus crucial que la fouille (dont il est, bien sûr, solidaire). L'aspect monétaire et l'aspect physique conduisent à des problèmes d'optimisation qui vont largement coïncider au XIXe siècle : minimiser les coûts équivaut, peu ou prou, à minimiser les distances de transport, les dépôts et les emprunts¹¹⁶, et à optimiser les déplacements de terre. Le facteur T détermine donc largement les autres facteurs et toute l'organisation spatiale du chantier : des savoirs, des machines et techniques et une nouvelle organisation du travail vont se développer, dont les effets dépasseront largement l'univers des terrassements.

Équilibre remblais-déblais

Au XIXe siècle, les ingénieurs des Ponts et Chaussées sont souvent chargés de la rédaction du projet de l'infrastructure (route, canal ou voie ferrée), donc de l'évaluation des coûts et du devis. Par conséquent, ils vont se spécialiser dans les calculs de cubatures¹¹⁷. Il s'agit

d'art varie de 27 à 33 % : Evrard, *op. cit.*, p. 270 ; Ruelle trouve 25 % du total pour 372 km de voies ferrées : Ruelle, *op. cit.*, p. 55 ; le coût des terrassements serait trois fois supérieur à celui consacré aux ouvrages d'art : Guillemin, *op. cit.*, p. 48-49.

111. Voir : *PCM* (nov. 1970) ; *RGRA* (fév. 1971 ; oct. 1992, p. 38). S'appuyant sur 500 km d'autoroutes livrés au trafic, un article estime la part des terrassements généraux et drainage à 32 % du coût kilométrique moyen d'une autoroute de liaison où il n'y a pas d'ouvrage exceptionnel. Les autres dépenses, par ordre décroissant (*PCM*, mai 1966) : chaussées (28 %), ouvrages d'art (15 %), équipements divers (8 à 9 %), études (7 à 8 %), charge foncière (7 %). Au début des années 1980, les pourcentages sont similaires (*PCM*, déc. 1983, p. 54).

112. *RGRA* (oct. 1992, p. 38).

113. Les déblais rocheux sont en général plus coûteux que la terre meuble, en partie à cause des explosifs nécessaires. Pour certains terrains (tranchées profondes, terrains éboulés et aquifères, tourbes, marais), lorsque des sondages sont indispensables, la fouille est parfois plus onéreuse que le transport de matière.

114. Le principal coût des autoroutes urbaines concerne les charges foncières. Pour l'autoroute à la sortie de Paris à Bagnolet (*PCM*, nov. 1970), elles sont plus importantes (33,2 %) que les ouvrages d'art (27,2 %) et les terrassements (12,3 %). La variabilité du coût du foncier pour les chemins de fer interpelle déjà au XIXe : Graëff, *op. cit.* ; Guillemin, *op. cit.*

115. W. Heyne, *Des travaux de terrassement relatifs aux chemins de fer et aux routes*, Paris, Dunod, 1878, p. VII ; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 63.

116. Le rapprochement avec la conception bancaire est tentant, mais inexact. L'excédent de déblai est accumulé dans des "cavaliers de dépôts" ; le déficit de déblai exige des fouilles appelées "chambres d'emprunt" : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 215.

117. La méthode réglementaire en France pour évaluer les cubatures de terrassement d'un projet routier a été précisée par une circulaire ministérielle du 14 janvier 1850. Elle consiste à découper le projet en segments

d'abord de déterminer le déblai et remblai total, et leur excès (déficit ou surplus) l'un sur l'autre, puis établir à quelles distances moyennes il faut les transporter, selon les lieux des emprunts et dépôts. Les difficultés courantes tiennent à l'évacuation des déblais lorsqu'il n'y a pas de remblais à construire ou, cas opposé, lorsqu'il manque de déblais pour les remblais. La compensation des déblais et des remblais, situation idéale dans laquelle il n'y a ni emprunt ni dépôt, donc aucune dépense pour acheter les terrains¹¹⁸, pour chaque lot et chaque section, est, de l'avis général, une condition essentielle de tout chantier¹¹⁹. Cet optimum dépend, bien sûr, du type de travaux : il est secondaire pour les voies ferrées¹²⁰, et exclu dans certains cas, comme par exemple les tunnels. Ce problème d'optimisation, et la multiplication de coûteuses études (quant aux outils, aux techniques, aux tracés, et, bien sûr, aux mouvements de terre), est intéressant sur deux points. D'abord il révèle un investissement très important de la part de grands scientifiques qui répondent à des intérêts puissants. Ensuite, le fait qu'il disparaît à partir de l'entre-deux-guerres, et de façon certaine dans les années 1950-1960 quand le problème physique se désolidarise du problème financier.

La plupart des auteurs ramènent la formulation du problème de compensation à un article de 1781 du célèbre mathématicien Monge publié dans le Recueil des Mémoires de l'Académie des Sciences : "Mémoire sur la théorie des déblais et des remblais¹²¹". Son travail est repris, et affiné selon les terrains, pendant deux siècles. Deux illustrations révèlent l'importance de la minimisation du facteur T et la recherche d'automatisation des décisions. Le premier, commandé par le baron James de Rothschild, dont la banque du même nom contrôle la Compagnie du Nord des chemins de fer, préoccupé par le coût des mouvements de terre¹²², propose une formule et établit des tables de calcul des cubatures pour diverses infrastructures.

élémentaires limités par des sections droites (profils en travers) puis à évaluer le volume de chaque segment en faisant le produit de la moyenne des aires des deux sections qui le délimitent par la longueur de l'entreprofil (*Annales PC*, juil.-août 1954, p. 485-507). L'extrême précision théorique de leurs calculs reflète celle des calculs des nivellements. Cela leur permet de se poser comme seuls légitimés à décider de la qualité des projets de travaux publics : Graber, *op. cit.*, p. 32.

118. Que la somme des déblais soit égale à la somme des remblais ne suffit pas : pour "que la solution soit économique, il faut que les distances des centres de gravité des déblais et des remblais ne soient pas trop considérables" : Pontzen, *op. cit.*, p. 10.

119. Claudel et Laroque, *op. cit.*; A. Rolland, *Détermination exacte de la distance moyenne des transports dans le calcul des terrassements des projets de route*, Nîmes, Clavel-Ballivet et Cie, 1865; Pontzen, *op. cit.*

120. "il y a peu d'ingénieurs qui s'amuseraient aujourd'hui à résoudre pour un chemin de fer le problème de la compensation des déblais et remblais" Graëff, *op. cit.*, p. 33.

121. Il y propose le problème suivant : "Deux volumes équivalents étant donnés, les décomposer en particules infiniment petites se correspondant deux à deux, de telle façon que la somme des produits des chemins parcourus en transportant chaque parcelle sur celle qui lui correspond, par le volume de la parcelle transportée, soit un minimum". Pour simplifier le langage, Monge donne les noms de déblai et de remblai aux volumes qu'il considère, sans prétendre traiter une question relative à l'art de l'ingénieur.

122. "Il y a encore cette autre considération, qui quelque fois devient très importante par les circonstances locales, c'est l'ajustement des volumes de déblais aux remblais, qui ne peut se faire par les méthodes ordinaires mais inexactes, employées pour calculer ces volumes, car les résultats qu'elles donnent approchent du vrai ou en diffèrent d'une quantité énorme, selon la disposition du terrain, ce que nous démontrerons dans le courant de cet ouvrage. Le temps employé par ces méthodes est considérable et par cela même gênant pour les compagnies de chemins de fer, qui malheureusement ne sont que trop souvent obligées d'accorder peu de délais à ces calculs, qui se font d'abord pour la formation de la compagnie, et plus tard pour l'adjudication aux entrepreneurs." E. G. Hughes, *Tables donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux, routes, etc.* Librairie scientifique - industrielle, Paris, L. Mathias, 1847, p. 8.

Le second, commandé par la Direction des chemins de fer de l'État, établit une méthode ("épuration") pour tout projet de terrassement linéaire (route ou chemin de fer), qui permet à l'équilibre des déblais et remblais, de trouver rapidement un mouvement des terres ayant la distance de transport moyenne minimum¹²³. Ces tableaux de mouvement des terres vont être publiés pour aider les ingénieurs à résoudre, sans calculs ni tâtonnements, leurs problèmes pratiques de compensation et de déplacements des terres¹²⁴. D'autres épures importantes s'ajoutent avec toujours la même idée : fournir une méthode expéditive pour l'évaluation approchée des volumes des terrassements et des superficies occupées pour un avant-projet d'infrastructure. Elles sont diffusées aux agents du service vicinal, commentées, étudiées et enseignées à l'ENPC¹²⁵. Les conducteurs des Ponts et Chaussées qui souhaitent avoir le grade d'ingénieur doivent les maîtriser¹²⁶. Cet engouement est avant tout scientifique et théorique. En pratique, l'usage des tableaux de mouvement des terres reste rare¹²⁷, surtout que des aspects qualitatifs s'imposent systématiquement (certains déblais, en terre glaise par exemple, ne peuvent servir pour les remblais car ils compromettent leur stabilité). Le "problème géométrique des déblais et remblais" disparaît rapidement des manuels après 1945 pour deux raisons : les tables deviennent inutiles avec le développement de logiciels de gestion des mouvements de terre¹²⁸ ; l'arrivée des machines rapides et de grandes capacités.

123. Il s'agit de "l'épuration de Lalanne", fruit de quarante ans de réflexion de l'auteur. Dès 1879, l'Administration des Ponts et Chaussées promeut l'usage de ces tables. Voir : A. Debaube, *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*, Paris, Dunod, 1872 ; L. Lalanne, *Exposé de deux méthodes pour abréger les calculs de terrassements et des mouvements de terre*, Paris, Dunod, 1879 ; Durand-Claye, *op. cit.*

124. Voir le livre d'un agent-voyer : J.-A. Bony, *Table des surfaces et des dimensions des profils avec compensation entre les déblais et les remblais dressées pour des routes de 8 et de 6 mètres, en plaine et à mi-côte, et applicables à des routes de toute autre largeur*, Librairie de l'École Polytechnique, Paris, Bachelier, 1853 ; pour les chemins de fer : Guillemin, *op. cit.*

125. *Annales CV* (juin 1886) ; E. Henry, *Théorie et pratique du mouvement des terres*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1893 ; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 215-232 ; Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 306-366 ; B. Dubuisson, *Topographie, tracé et épures de terrassement*, Paris, Aristide Quillet, 1950.

126. Debaube, *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*, *op. cit.*

127. "dans la pratique, les entrepreneurs ne font jamais usage du tableau d'emploi des terres. Le profil en long, qui indique la manière dont la voie doit être assise sur le sol naturel, et l'aspect du terrain sont suffisants pour leur indiquer comment les transports doivent être effectués." (*Annales CV*, oct. 1885, p. 249).

128. Voir les rapports : "Question I. Étude et exécution des terrassements", XIIe Congrès AIPCR, Rome, 1964 ; "Question II. Établissement des Projets-Terrassements", XIIIe Congrès AIPCR, Tokyo, 1967. Les logiciels sont toujours commentés : *Travaux* (sept. 2010, juil.-sept. 2012) ; SETRA et CFTR, *Conception et réalisation des terrassements. Fascicule I : études et exécution des travaux*, Guide technique, mars 2007, p. 40-50.

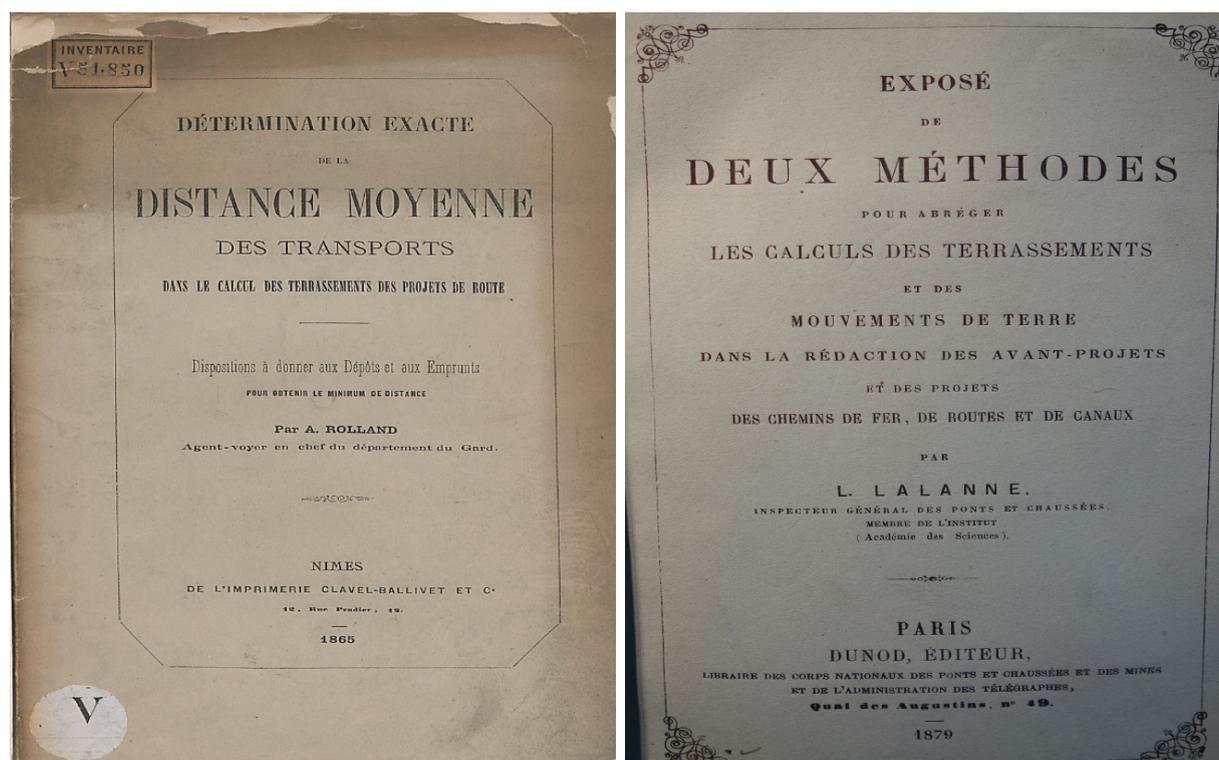


FIGURE 2.9 – Calculs des mouvements de terre¹²⁹.

Proto-taylorisme et économie des transports

Des avancées dans l'économie des transports comme dans la rationalisation du travail sont historiquement issues de la question pratique de gestion des mouvements de terre¹³⁰. Au XIXe siècle, les calculs d'optimisation de transport sous contraintes¹³¹ se développent pour répondre à ce type de problème : avec tels moyens de transports, tels coûts fixes, telles vitesses et telles capacités, quelles ressources choisir pour déplacer un certain volume du point A au point B en minimisant le coût ? Les cours et manuels comparent les moyens de transport – jet de pelle, brouette, corbeille, dos d'âne, tombereau à cheval et camions, wagonnets – selon la distance, mais aussi la vitesse de chaque tâche, le nombre d'ouvriers nécessaires, le type d'outils utilisés¹³², l'amortissement des appareils, etc. Des tables servent, encore, à faciliter les calculs des formules, et donne une vue synthétique, de chaque configuration¹³³ (figure 2.10).

129. Rolland, *op. cit.* ; Lalanne, *op. cit.*

130. Les modèles des ingénieurs proviennent ainsi de questions concrètes de gestion. Selon Grall et Vatin, la matrice théorique à partir de laquelle se déploie toute cette pensée gestionnaire n'est autre que la mécanique industrielle : Grall, *op. cit.* ; Vatin, « L'esprit d'ingénieur », *op. cit.*

131. Ceci justifie la dénomination, restrictive, d'économie des transports au sens de l'optimisation des moyens de transport en vue d'une fin avec des ressources rares. Voir : *Annales CV* (mai 1885) ; Claudel et Laroque, *op. cit.* ; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 148-193 ; Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 373-403 ; Frick et Canaud, *op. cit.*, chapitre VII.

132. Le type de pelle (anglaise, italienne, de Silésie, de la Basse Hongrie) : Heyne, *op. cit.*, p. 24-26.

133. Ces formules, propres à chaque chantier, doivent être appliquées sous certaines hypothèses (prix de la journée de manœuvre, la pente des rampes, l'amortissement, foisonnement, etc.). Des aspects qualitatifs sont souvent évoqués – ainsi, brouettes et tombereaux à cheval sont préférés aux wagons pour les remblais du fait

DISTANCE DE TRANSPORT.	MODE DE TRANSPORT.										
	A la brouette.				VOLUME de 100 000 mètres transportés sur voies provisoires avec wagons ordinaires de terrassement.		VOITURE de 20 000 mètres transportés sur voies définitives avec locomotives à la vitesse de 35 kilom. à l'heure.			COURS D'EAU ² .	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	For- mules.	0,450 D + 0,25 D	0,20 + 0,25 D	0,80 + 0,12 D	0,60 + 0,045 D	0,56 + 0,036 D	0,45 + 0,01 D	0,45 + 0,005 D	0,20 + 0,005 D	0,004 D	0,08 + 0,008 D
10	0,045	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
20	0,090	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
30	0,135	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
40	0,180	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
50	0,225	0,225	0,325	»	»	»	»	»	»	»	»
60	0,270	0,250	0,350	»	»	»	»	»	»	»	»
70	0,315	0,275	0,375	»	»	»	»	»	»	»	»
80	0,360	0,300	0,400	»	»	»	»	»	»	»	»
90	0,405	0,325	0,425	»	»	»	»	»	»	»	»
100	0,450	0,350	0,450	0,420	0,545	0,596	0,460	0,455	0,205	0,244	0,088
120	0,540	0,400	0,500	0,444	0,554	0,603	0,462	0,456	0,206	0,215	0,090
140	0,630	0,450	0,550	0,468	0,563	0,610	0,464	0,457	0,207	0,246	0,091
160	0,720	0,500	0,600	0,492	0,572	0,618	0,466	0,458	0,208	0,246	0,093
180	0,810	0,550	0,650	0,516	0,581	0,624	0,468	0,459	0,209	0,247	0,094
200	0,900	0,600	0,700	0,540	0,590	0,632	0,470	0,460	0,210	0,248	0,096
300	»	0,850	0,950	0,660	0,635	0,668	0,480	0,465	0,215	0,252	0,104
400	»	1,100	1,200	0,780	0,680	0,704	0,490	0,470	0,220	0,256	0,112
500	»	1,350	1,450	0,900	0,725	0,740	0,500	0,475	0,225	0,260	0,120
600	»	1,600	1,700	1,020	0,770	0,776	0,510	0,480	0,230	0,264	0,128
700	»	1,850	1,950	1,140	0,815	0,812	0,520	0,485	0,235	0,268	0,136
800	»	2,100	2,200	1,260	0,860	0,848	0,530	0,490	0,240	0,272	0,144
900	»	2,350	2,450	1,380	0,905	0,884	0,540	0,495	0,245	0,276	0,152
1 000	»	2,600	2,700	1,500	0,950	0,920	0,550	0,500	0,250	0,280	0,160
1 100	»	»	»	1,620	0,995	0,956	0,560	0,505	0,255	0,284	0,168
1 200	»	»	»	1,740	1,040	0,982	0,570	0,510	0,260	0,288	0,176
1 300	»	»	»	1,860	1,085	1,028	0,580	0,515	0,265	0,292	0,184
1 400	»	»	»	1,980	1,130	1,064	0,590	0,520	0,270	0,296	0,192
1 500	»	»	»	2,100	1,175	1,100	0,600	0,525	0,275	0,300	0,200
1 600	»	»	»	2,220	1,220	1,150	0,610	0,530	0,280	0,304	0,208
1 700	»	»	»	2,340	1,265	1,172	0,620	0,535	0,285	0,308	0,216
1 800	»	»	»	2,460	1,310	1,208	0,630	0,540	0,290	0,312	0,224
1 900	»	»	»	2,580	1,355	1,244	0,640	0,545	0,295	0,316	0,232
2 000	»	»	»	2,700	1,400	1,280	0,650	0,550	0,300	0,320	0,240
2 500	»	»	»	»	1,625	1,460	0,700	0,575	0,325	0,340	0,280
3 000	»	»	»	»	1,850	1,610	0,750	0,600	0,350	0,360	0,320
4 000	»	»	»	»	»	2,000	0,850	0,650	0,400	0,400	0,400
5 000	»	»	»	»	»	2,360	0,950	0,700	0,450	0,440	0,480
10 000	»	»	»	»	»	4,160	1,450	0,950	0,700	0,640	0,880
15 000	»	»	»	»	»	5,960	1,950	1,200	0,950	0,810	1,280
20 000	»	»	»	»	»	»	2,450	1,450	1,200	1,040	1,680
25 000	»	»	»	»	»	»	2,950	1,700	1,450	1,240	2,080
50 000	»	»	»	»	»	»	5,450	2,950	2,700	2,240	4,080

¹ Voies de fer, wagons, remaniement des déblais, déchargement, etc.
² Non compris les frais de chargement et de déchargement, et ceux de transport du lieu d'extraction au bateau et du bateau au lieu d'emploi.

FIGURE 2.10 – Tableau comparatif des coûts de transports¹³⁴.

Il est remarquable que les importants volumes des travaux de terrassement aient conduit aux premières tentatives de rationalisation du travail. Nathalie Montel, comme d'autres auteurs qui oublient de la citer¹³⁵, montre qu'un proto-taylorisme est explicitement à l'œuvre dès les travaux de terrassement dirigés par Vauban au XVIIe siècle¹³⁶. Celui-ci cherche à connaître la productivité en mesurant, pour une durée "normale" du travail, la distance de transport et le volume de terre transporté. Les ingénieurs du XIXe siècle vont prolonger les réflexions en ce sens en mesurant le temps d'exécution des différentes tâches et trajets, le rendement des chevaux, la puissance musculaire de l'homme, les rétributions à accorder à qu'ils pilonnent avantageusement les couches successives : les remblais sont moins sujet à s'écrouler et les tassements ultérieurs sont moindres : Guillemain, *op. cit.*, p. 61 ; Pontzen, *op. cit.*, p. 131.

134. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 249.

135. J.-L. Peaucelle, « Vauban, la normalisation du travail avant Taylor ? », *Gérer et Comprendre* 87 (2007), p. 48-60 ; F. Gerber et C. Assens, « De Vauban à Taylor : une approche historique sur la méthode de calcul des coûts du travail », *Revue internationale des sciences de l'organisation* 9 (2020), p. 105-125.

136. Au sujet des liens entre grands chantiers de fortification de Vauban, les ingénieurs des Ponts et Chaussées et l'organisation rationnelle du travail, voir : *Le Génie Civil* (nov. 1930, p. 12-16) ; Montel, « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement », *op. cit.* ; Gerber et Assens, *op. cit.*

L'ouvrier. Étant donné la variété des situations, les manuels s'accordent pour dire qu'il est difficile de donner des chiffres moyens sur la quantité de travail que peut fournir un ouvrier employé à la fouille et à la charge des terres. Pour dix heures de travail, selon le type de terre et les hypothèses sur le jeter de pelle horizontal ou vertical¹³⁷, un terrassier peut remuer de 6 à 25 m³ de terre¹³⁸. Le type de terre ne se définit plus tant par la géologie que par la facilité à être creusée et déplacée par un terrassier en un temps donné – la terre meuble, par exemple, est “celle dont un homme peut prendre à la pelle et jeter de côté, ou dans une brouette à son niveau, un cube de 15 mètres par journée de 10 heures¹³⁹”.

Pour 1 mètre cube.	Heures de terrassier.	TABLEAU des quantités moyennes de déblai qu'un terrassier de force ordinaire peut piocher et jeter à une hauteur de 1 ^m ,60, ou charger en brouette dans une journée de dix heures de travail, pour différentes natures de sol, en grandes tranchées.		
		Cube fouillé et jeté à 1 ^m ,60 en 10 h.	RÉPARTITION DES HEURES EMPLOYÉES	
			à la fouille.	au jet ou à la charge.
Fouille en grandes tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur au fond, sans étais.....	0,80	m.	h.	h.
— en tranchées ou rigoles ayant moins de 2 mètres de largeur au fond, avec embarras d'étais.....	0,90	7,70	6,25	3,75
Jet à la pelle à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1 ^m ,60, en rigoles ou tranchées ayant au moins 2 mètres de largeur au fond, sans étais ni banquettes.....	0,50	6,00	6,70	3,30
— à une distance horizontale de 3 mètres ou à une hauteur verticale de 1 ^m ,60, en rigoles ou tranchées ayant moins de 2 mètres de largeur au fond, avec étais et banquettes.....	0,60	5,25	7,10	2,90
— en brouette, caisse ou camion n'excédant pas 1 ^m ,20 de hauteur....	0,40	4,50	7,00	3,00
— en tombereau ou en waggon, ou encore sur berge ou sur banquette de 2 mètres de hauteur, en grandes tranchées.....	0,60	4,25	7,24	2,76
		2,85	8,40	1,60
		2,38	8,70	1,30
		2,00	8,80	1,20

FIGURE 2.11 – Temps de travail pour une terre ordinaire (terre végétale, alluvion, sable) et volume journalier pour un jet vertical¹⁴¹.

À partir de ces volumes horaires, et du temps de fouille pour un mètre cube, les ingénieurs vont décider de l'organisation de chaque atelier de terrassiers : quel est le rapport optimal entre piocheurs (qui ameublissent la terre), chargeurs (qui la jettent dans les brouettes) et routeurs (qui poussent les brouettes jusqu'au lieu de remblai) de telle sorte qu'il n'y ait pas un moment perdu. Les terres sont ainsi classées selon le nombre des piocheurs que dessert un pelleteur¹⁴². À partir de ce classement, l'entrepreneur fixe le prix qu'il convient de payer dans chaque cas pour un mètre cube de déblais¹⁴³. Les mouvements du facteur T sont pensés

137. Horizontalement, de 3 à 4 mètres ; verticalement, de 1,65 à 2 mètres. Voir : Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 224 ; et : C. Etienne, A. Masson et D. Casalonga, *Nouveau manuel complet du terrassier et de l'entrepreneur de terrassements. Tome I*, Encyclopédie-Roret, Paris, L. Mulo, 1910, p. 52.

138. Tout dépend du type de terre (humus, sable meuble, terre glaise, sable ferme, etc.). Voir : Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 224 ; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 73 ; Peaucelle, *op. cit.*

139. Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 73.

141. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 228-229.

142. La terre est à un homme et demi s'il faut un piocheur pour deux pelleteurs, elle est à deux hommes si à chaque pelleteur il faut son piocheur, enfin si, pour un pelleteur, deux, trois, quatre piocheurs sont nécessaires, on dit que la terre est à trois, quatre ou cinq hommes : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 73 ; Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 54.

143. L'entreprise peut s'exposer à de grandes difficultés “en classant simplement les déblais d'après leur composition géologique ou d'après leur résistance à l'extraction” puisque cette classification reste arbitraire. Il est recommandé d'établir le prix du déblai pour chaque tranchée d'un lot de terrassement, pour calculer

à l'aide des formules, susmentionnées, sur les transports optimaux en fonction de la distance. Les ingénieurs réfléchissent au nombre de relais, de brouettes, de “bons ouvriers”¹⁴⁴, chargeurs et rouleurs, mais aussi à éviter les entrecroisements¹⁴⁵. Il est nécessaire, pour qu'il n'y ait pas interruption dans le travail, que le chargeur trouve toujours une brouette vide à charger, et que le rouleur trouve toujours une brouette pleine à rouler. Un optimal, sur terrain plat, répété depuis Vauban est de compter les brouettes pour 1/30 de mètre cube, un chargement en 72 secondes et un relais à 30 mètres¹⁴⁶. La rationalisation constatée sur les chantiers après 1945 prolonge ce long processus qui soumet l'organisation de la sphère de la production au facteur T. Les séquences d'opérations répétitives, bientôt déterminées par des logiciels, sont mises en place – les mouvements sont par exemple calibrés pour maximiser les productions horaires en fonction des engins présents.

2.3.2 Les gigas à la pelle et à la brouette

Cette sous-section présente deux arguments : i) les machines ne sont pas intrinsèquement supérieures aux outils manuels – elles ont été longtemps encombrantes, difficiles à monter, à déplacer et à manier ; ii) leur présence sur quelques chantiers jusqu'à l'entre-deux-guerres n'élimine pas la main-d'œuvre. Pendant des siècles, des milliards de mètres cubes ont été transportés sans pétrole ni machine complexe, au contraire de ce que prétendent de nombreux articles¹⁴⁷, mais essentiellement à l'aide de pelles, bèches et brouettes. La main-d'œuvre peut être très importante – entre 25 000 à 30 000 hommes travaillent au canal de l'Eure (1685-1688). Plus de deux mille brouettes sont amenées depuis Rouen en 1680 pour gérer le transport de terre dans le vallon de Marly, où travaillent 5 000 ouvriers¹⁴⁸. Au canal de Suez, où la brouette est inconnue des Égyptiens, 25 000 fellahs transportent les déblais dans des couffins entre 1859 et 1865¹⁴⁹.

La mécanisation est recherchée pour faire baisser le prix de revient (certains affirment aussi vouloir épargner “un dur labeur” au terrassier) et activement encouragée par les ingénieurs qui commentent inlassablement chaque innovation. L'énergie fossile s'imisce très graduellement dans les chantiers. Du côté de l'excavation : aux premières pelles mécaniques (comme celle d'Otis en 1836) s'ajoutent de nombreux excavateurs à ciel ouvert ou les premières pelles

ensuite le prix moyen pour la fouille et le chargement, le transport et le déchargement du lot entier : Evrard, *op. cit.*, p. 71-72.

144. Tous les auteurs utilisent comme étalon un “bon ouvrier”, un “ouvrier robuste”, ou “fort et habile”, disposant de bons outils, bien entretenus et nettoyés. Par exemple, les résultats reposent sur l'hypothèse qu'un “fort rouleur à la tâche”, parcourt 30 km dans une journée de huit à neuf heures de travail. Comme les terrassiers sont généralement rémunérés au mètre cube, ceci signifie que les “plus faibles” devront fournir un effort supplémentaire pour obtenir un salaire équivalent. Voir : Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 240 ; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 68.

145. Ainsi, “le nombre des brouettes nécessaires sur un atelier est donc représenté par la somme des chargeurs et des rouleurs.” : *idem, Tome premier, op. cit.*, p. 155.

146. Lorsque la distance à parcourir est supérieure à 30 mètres, il faut plusieurs rouleurs, qui sont chargés chacun d'un relais de 30 mètres. Pendant que le rouleur marche, le chargeur doit avoir une brouette devant lui : Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 56-57 ; Peauccelle, *op. cit.*, p. 49.

147. Argument fréquent dans les revues : la *RGRA* (mai 1976) écrit que “la hausse du volume des terrassements est proportionnelle à celle de la taille des engins.”

148. Vernhes, *op. cit.*

149. La brouette terrassière est en usage dans tous les chantiers de terrassement. On en attribue, à tort, l'invention à Pascal : Montel, « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement », *op. cit.*

mécaniques mues au charbon¹⁵⁰. Pour ce qui est du transport, les moyens s'additionnent sans substitution au fil des décennies : à la brouette et au jet de pelle, s'ajoutent le tombereau à cheval, le wagon, si les chantiers disposent de rails, remorqué par des chevaux ou locomotives¹⁵¹. De manière général, les engins imitent et amplifient les gestes des terrassiers. Afin de mettre en évidence "l'immense supériorité sur le travail manuel que présente à tous égards le travail mécanique¹⁵²", le travail effectué par chaque machine est comparé à ce qu'il demanderait aux terrassiers¹⁵³. L'argument des "progrès" considérables des terrassements en matière de travaux publics, du fait de l'invention de nouvelles machines et procédés, est alors récurrent¹⁵⁴. Cette propagande sur la supériorité des machines ne résiste pas à l'analyse. Elle repose sur une comparaison individuelle (une machine comparée à un terrassier) qui fait fi du collectif que demande chaque mouvement de terre¹⁵⁵. Sauf cas exceptionnels, la présence des machines est largement exagérée par les récits qui aiment citer leur contribution sur quelques chantiers symboliques à Suez ou Panama¹⁵⁶. Même dans un chantier où les machines ont été intensément utilisées, les volumes déplacés à la brouette restent proches¹⁵⁷. Les manuels d'ingénieurs de travaux publics ne s'y trompent pas : s'ils encensent les machines, ils continuent à dédier des chapitres entiers à des comparaisons très précises, et illustrées, des pioches, pelles, brouettes, tombereaux tirés par des chevaux et wagonnets.

Croissance des volumes et présence d'engins puissants n'ont donc pas toujours été corrélés. D'abord, les petits chantiers ne peuvent recevoir les grands excavateurs – qui n'ont d'intérêt que pour des volumes importants. En outre, il faut toujours commencer la fouille à la pelle pour établir les voies et pour préparer le moment où l'appareil, sans se déplacer trop fréquemment, pourra fonctionner efficacement. Ensuite, ces machines sont immenses, tributaires des rails, très lourdes, onéreuses et demandent beaucoup de charbon et de main-d'œuvre pour fonctionner¹⁵⁸. Enfin, l'utilité d'une machine dépend crucialement du coût de la main-d'œuvre. Il s'agit de procéder à un calcul coût-bénéfice : lorsque la main-d'œuvre

150. W. R. Haycraft, « History of Construction Equipment », *Journal of Construction Engineering and Management* 137.10 (2011), p. 720-723.

151. Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 164-191.

152. *Ibid.*, p. 63.

153. Les excavateurs ou le bulldozer sont prétendument capable de remplacer entre 50 et 120 travailleurs : Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 306 ; Okalla Bana, *op. cit.*, p. 69-71 ; Y. Lacoste, « Aspects géographiques généraux des industries de la construction », *Annales de Géographie* 68.366 (1959), p. 132.

154. Les auteurs prétendent que les machines se sont substituées, dans chaque type de chantier, au travail manuel : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 63 ; Pontzen, *op. cit.*, p. ix.

155. Sans renier les comparaisons entre machines et humains, les ingénieurs admettent que celles entre excavateurs n'ont pas beaucoup de sens puisque tout dépend de la bonne disposition du chantier et des conditions d'exécution : *idem, op. cit.*, p. 63 ; Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 312.

156. Couvreur fut l'un des premiers, en Europe, à transformer les dragues à godets en outils susceptibles d'être employés pour des excavations à sec. L'excavateur Couvreur opère à Suez à partir de 1863, après avoir servi entre 1860 et 1863 la ligne du chemin de fer entre Sedan et Thionville. Voir : Pontzen, *op. cit.*, p. 52 ; Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 307-359.

157. Dans une description qui doit servir à vanter les mérites des dragues sur un chantier du canal maritime de Gand à Terneuse en 1878, les volumes sont équivalents : 1,1 Mm³ retirés à la brouette, contre 1,25 Mm³ à la machine : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 390.

158. Des excavateurs, comme Couvreur, pèsent 40 à 50 tonnes, et demande l'aide de 8 à 10 hommes pour fonctionner ; les engins de compactage, de plusieurs tonnes, tirés par des longs attelages de chevaux mettent plus de temps à faire demi-tour qu'ils n'en emploient au parcours lui-même ; jusqu'à l'avènement de la chenille, la plupart des pelles mécaniques à vapeur sont tributaires du rail, ou tractées par de gigantesques attelages de chevaux et mulets. Le plus gros dragline, tant célébré, de Donzère pèse 640 tonnes et a demandé 4 mois

est bon marché, ou gratuite, éviter tout appareil “quelque peu coûteux” – surtout lorsque le cube des terrassements est faible et que la rapidité de l’exécution n’a pas une grande importance ; si les ouvriers sont rares et chers, préférer les machines¹⁵⁹. Le prix au mètre cube n’est pas toujours avantageux : moins de 20 % entre un travail à la pelle et l’autre à l’excavateur¹⁶⁰. Même lorsque théoriquement la machine l’emporte, la main-d’œuvre reste plus intéressante lorsque les terrains sont variés. Si machines et terrassiers cohabitent de plus en plus à partir des années 1880 ou 1890, et uniquement sur les grands chantiers¹⁶¹, il paraît raisonnable d’affirmer qu’il n’y a pas de substitution massive de travail par du capital avant l’entre-deux-guerres.

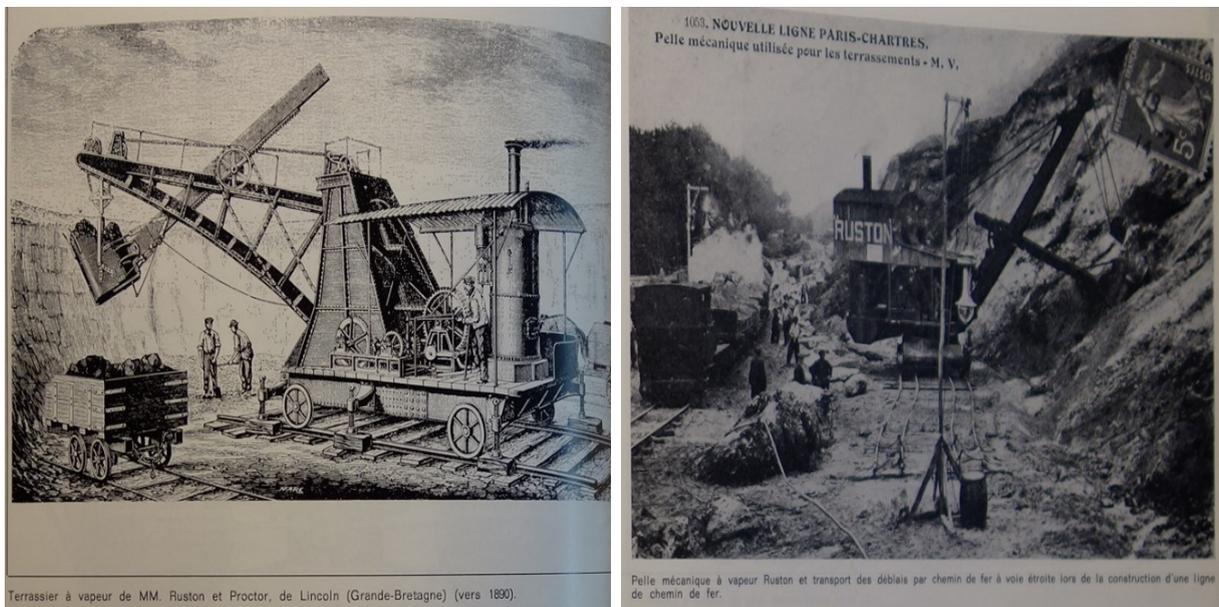


FIGURE 2.12 – Exemple de pelles mécaniques à vapeur sur rails au tournant du XXe siècle¹⁶².

2.3.3 Au-delà de la puissance

La rupture de la Grande Accélération, symbolisée par Donzère, concerne davantage les cadences que les volumes¹⁶³. Il faut rester très prudent quant aux comparaisons entre le rendement individuel, horaire ou journalier, d’un terrassier avec sa pelle et celui d’un engin

pour être monté : *BdT* (n°166, oct. 1951) ; *Travaux* (mai 1972) ; *idem*, *Tome premier, op. cit.*, p. 76 ; Pontzen, *op. cit.*, chapitre 2.

159. Un nouvel excavateur étatsunien, qui pourtant représente le travail de 80 à 90 terrassiers, n’est utile que “dans les pays où la main-d’œuvre est chère et les bras rares”, de sorte qu’il connaît un succès très faible en France. Voir : *idem*, *op. cit.*, p. 27 ; Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 306.

160. Pontzen, *op. cit.*, p. 64.

161. Les machines n’éliminent pas les outils manuels qui persistent notamment dans les petits chantiers urbains. Le concours lancé par le Service des routes en 1946 pour le matériel des travaux publics (qui inclut brouettes sableuses gravillonneuses, pelles, petits matériels de cantonnier) fournit une illustration. Des concours similaires sont organisés chaque année jusque 1949 (*RGRA*, mars 1947, déc. 2000, p. 24-25).

162. *Travaux* (mai 1972, p. 22-23).

163. Il existe quelques rares exceptions. Lors de la dernière année des travaux du canal de Suez, entre 1868 et 1869, environ 2 Mm³ sont déblayés par mois (davantage qu’à Donzère-Mondragon).

comme une drague. Il est impossible de conclure que les meilleurs rendements, c'est-à-dire en terrain favorable, ont été multipliés par 7 000, entre la fin du XIXe siècle et le début des années 1950, sous prétexte qu'un terrassier moyen extrait $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ alors qu'une machine à Donzère extrait $3\,500 \text{ m}^3/\text{h}$ ¹⁶⁴. Nous disposons toutefois, grâce aux archives, de beaucoup d'exemples, très précis, qui donnent un ordre de grandeur utile à la discussion. Sur un grand chantier du XIXe siècle, les cadences varient, selon la présence de machines et le type de terrain, de 300 à $1\,500 \text{ m}^3/\text{jour}$ ¹⁶⁵. Si elles sont difficiles à mesurer avec exactitude, et escamotent la question énergétique, les différences des moyennes des grands chantiers, c'est-à-dire le total de mètres cubes divisé par le nombre de jours effectivement travaillés, sont éclatantes : le rendement journalier moyen par terrassier tout effectif compris passe de $4,5 \text{ m}^3$ en 1887, à plus de 60 m^3 au milieu des années 1970¹⁶⁶. Il y a indéniablement une rupture au cœur du Fordisme. Le saut quantitatif est explicite avec les cadences de Donzère-Mondragon, où il est déplacé $50\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$. Yves Lacoste décrit une "véritable banalisation de travaux gigantesques dépassant largement les grandes pyramides ou le canal de Suez"¹⁶⁷. Ce n'est pourtant qu'un début. La véritable accélération des cadences vient dans les années 1960 et 1970 et concerne les autoroutes. Une première multiplication par dix en dix ans, entre le chantier de la déviation de route nationale-type en 1952, environ $1\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$, et le chantier d'une autoroute, qui dépasse $10\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ ¹⁶⁸. Sur l'autoroute du Sud de Paris, les rendements journaliers triplent – de $5\,000$ à $15\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$; certains jours de beau temps, plus de $100\,000 \text{ m}^3$ sont déplacés sur quelques tronçons de l'autoroute A6¹⁶⁹. Dans les chantiers de l'aménagement de Vallabrègues (1970), pour un même volume déplacé qu'à Donzère, l'effectif des ouvriers est divisé par six tandis que les délais d'exécution sont divisés par deux¹⁷⁰. Cette hausse connaît une limite : la taille des engins, comme les cadences, stagne à partir du milieu des années 1970¹⁷¹.

164. Les hausses sont indéniables. A Donzère, un godet d'un grand excavateur a une capacité de 6 m^3 contre $0,15 \text{ m}^3$ à la fin du XIXe; les plus grandes dragues ont une capacité de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ contre $200 \text{ m}^3/\text{h}$ au canal de Panama; les camions ont des capacités de 6 à 9 m^3 . Voir : *L'Équipement Mécanique* (juin 1952, p. 12-13); Pontzen, *op. cit.*, p. 61; Balensi, *op. cit.*, p. 67.

165. 580 ouvriers sont nécessaires pour extraire, déplacer et niveler $1\,500 \text{ m}^3$ par jour : Heyne, *op. cit.*, p. 207; sur le chemin de fer du Nord, les cadences pour les grandes tranchées varient de 325 m^3 à 525 m^3 par jour; $144\,000 \text{ m}^3$ sont déplacés avec 80 terrassiers à la fouille et à la charge, 8 ouvriers du déchargement, 9 poseurs de voie, 6 graisseurs et aiguilleurs, 20 chevaux, 9 conducteurs de chevaux, 60 wagons sur rail et 30 wagons en charge : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 247-248; pour d'autres tranchées, ou des lignes du métro parisien, le rythme moyen atteint de 800 à $1\,000 \text{ m}^3$ par jour : Guillemin, *op. cit.*, p. 58; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 256; P. Désabres, « Quelques aspects techniques de la construction des infrastructures du métro de Paris, 1898-1910 », dans : *Métro, dépôts, réseaux*, sous la dir. de N. Gérôme et M. Margairaz, Éditions de la Sorbonne, 2002, p. 37-53; avec les plus gros excavateurs, les moyennes journalières peuvent atteindre certains jours les $1\,500$ à $1\,800 \text{ m}^3$: Heyne, *op. cit.*, p. 202-207; Pontzen, *op. cit.*, p. 65.

166. *RGRA* (mai 1976, p. 157).

167. Lacoste, *op. cit.*

168. Une large enquête réalisée en 1967 sur 17 Mm^3 de terrassement autoroutier, vingt-quatre chantiers situés dans seize départements, indique que le chantier moyen avait un débit de 5 à $6\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$, parfois beaucoup plus (*Bull. liaison*, juil.-août 1970).

169. Tous ces chiffres proviennent de : *Annales ITBTP* (série TP, jan. 1965); *L'Équipement Mécanique* (jan.-fév. 1968, p. 52); *PCM* (déc. 1969, p. 43, nov. 1972, p. 57).

170. *PCM* (nov. 1972).

171. Par exemple, $30\,000 \text{ m}^3/\text{jour}$ sur un lot du chantier de la LGV Est (*Terrassements & carrières*, n°47, 2002, p. 15). Sur les pistes de Roissy, les cadences sont très proches à 25 ans d'écart. Plus de $42\,000 \text{ m}^3$ sont déplacés certains jours sur la piste numéro 2; 25 ans plus tard la moyenne journalière pour la piste numéro 4

Pourquoi cette soudaine hausse après 1945, y compris par rapport à des chantiers bien mécanisés des années 1930 ? Elle bénéficie des guerres pour certaines innovations (moteur diesel lors de la Première Guerre, pneus basse pression pendant la Seconde) et de transfert des technologies du Génie militaire : pelle mécanique hydraulique, scraper (décapeuse) ou bulldozer¹⁷². Ainsi, en France, la présence du matériel de l'armée étatsunienne et l'aide du plan Marshall vont contribuer à transformer les chantiers¹⁷³. Les cadences résultent pour partie de machines plus maniables et faciles à entretenir que les précédentes¹⁷⁴, du gazoil abondant qui libère du charbon et alimente les moteurs diesel¹⁷⁵. Plus fondamentalement, elle est le fruit des modifications des cycles extraction – chargement – transport – déchargement, plus rapides et avec davantage de quantité déplacée par cycle¹⁷⁶. Si l'ensemble pelleuse - rouleuse est remplacé par excavateur - tombereau¹⁷⁷, de nouveaux venus transforment le mouvement du facteur T. C'est le cas du scraper, machine symbole des terrassements routiers en terrain meuble dans les années 1960¹⁷⁸, qui réalise plusieurs opérations simultanément – excaver, transporter et déposer la terre – mais qui exige souvent un pousseur¹⁷⁹. C'est pourquoi le bulldozer, très commenté et présent dans l'imaginaire collectif, notamment au travers de l'entreprise Caterpillar, est secondaire dans les grands rendements¹⁸⁰. S'il est parfois utilisé pour transporter les déblais, et pousser le scraper, ses usages principaux concernent l'essouchement, le débroussaillage, le décapage, le nivellement et le profilage initial.

Les vitesses élevées sont pour partie le résultat des nouvelles pneumatiques, qui permettent des déplacements multi-directionnels dans la sphère de production tout en libérant

est de 35 000 m³ (*Travaux*, avr. 1974, p. 8 ; *Bull. liaison*, mars-avr. 1976 ; p. 10 ; *Terrassements & carrières*, 2ème trim. 1998, p. 8). Une exception lors du plus grand chantier autoroutier de 1996, la moyenne est de 61 000 m³/jour pendant 17 mois (*Terrassements & carrières*, 3ème trim. 1996, p. 10).

172. Après avoir servi les forces armées pendant le conflit, et montré ses avantages sur les divers terrains rencontrés, il est utilisé pour transporter les déblais lors de la période de reconstruction. Voir : *Travaux* (mai 1972) ; Haycraft, *op. cit.* ; Ammon, *op. cit.*

173. Les machines de la période d'après-guerre en France existent pour la plupart, sous une forme moins puissante et moins maniable, aux États-Unis dès les années 1920 et 1930, où elles servent dans les exploitations agricoles des grandes plaines (*RGRA*, juin 1947, p. 7 ; *Travaux*, mai 1972, avr. 1974). Leur centralité dans les années 1950 tient pour une part aux missions envoyées aux États-Unis dès 1945-46 (par exemple les longues missions d'étude de productivité de la FNTP en avril 1950). Voir : *Annales ITBTP* (série TP, fév. 1950) ; *RGRA* (mars 1954, juin 1954, mars 1956, avr. 1956, sept. 1957, mai 1976, déc. 2000) ; P. Devaux, *Les Grands Travaux*, 2ème édition, Que sais-je ?, Paris, PUF, 1962 ; Barjot, « Mobilisation des entreprises de BTP et reconstruction des infrastructures », *op. cit.* ; Okalla Bana, *op. cit.*

174. *PCM* (nov. 1972, p. 39).

175. La locomotive diesel a déjà amélioré l'évacuation des déblais dans les années 1920 (*Le Génie Civil*, nov. 1930). Le moteur diesel devient plus puissant, de 200 CV en 1945 à 1 000 CV trente ans plus tard. Il se généralise en profitant de l'abondance de gazoil raffiné en France, dont la production nationale passe de 306 kt à 3,7 Mt entre 1946 et 1955 (Comité Professionnel du Pétrole, 1955).

176. Reverdy affirme que si la vitesse moyenne de l'ensemble du cycle passe de 12 à 15 km/h, le gain est de 1 800 m³/jour (*RGRA*, fév. 1968, p. 84).

177. La notion "d'échelon de terrassement" désigne un ensemble d'engins dont l'emploi simultané fournit un certain rendement (*RGRA*, mai 1976, p. 159).

178. Exemple sur un chantier de terrassement d'une autoroute alpine où il est responsable de 73 % des 19 Mm³ déplacés (*Travaux*, LR, 1974, p. 113). Par son poids et la charge de ses roues, il assure par lui-même un compactage efficace des plateformes.

179. Sa domination faiblit sensiblement par la suite et est remplacé par l'échelon pelles hydrauliques – tombereaux (*Travaux*, mars 1997).

180. Un article qui tire un bilan sur l'évolution des matériels de terrassement ne le mentionne même pas (*Travaux*, avr. 1974).

les machines (wagons, excavateurs) des rails – contrainte qui les rendait inutilisables dans de nombreuses situations¹⁸¹. C'est une condition nécessaire pour que l'accroissement des puissances et des rendements de chaque engin se transforme en hausse des cadences générales. La pneumatique à base large et à basse pression permet en outre de charger et transporter des charges toujours plus importantes à grande vitesse sur des sols peu portants et mal nivelés¹⁸². Les véhicules-tombereaux sur pneus, énormes et rapides, peuvent alors transporter des masses de 30 m³ à 25 km/h et à des distances de plusieurs kilomètres¹⁸³ – les vitesses de pointe et moyenne atteignent respectivement 80 km/h et 33 km/h dans les années 1990¹⁸⁴. L'évolution des pneumatiques du matériel de génie civil a donc facilité le gigantisme des engins rapides. L'importance du poste "pneu" s'observe dans le coût d'utilisation des engins de terrassement¹⁸⁵ : selon le type de machine, il représente une dépense de 12 à 18 % du prix horaire de fonctionnement d'un engin sur pneus (amortissement compris).

Un grand spécialiste des terrassements

100.000 CV
14.000.000 m³/an

EV

Entrepise Valerian

TERRASSEMENTS TRAVAUX PUBLICS

S.A. au Capital de 10.500.000 F.
B.P. 12
84350 COURTHÉZON
Tél. 70.72.61 - Téléx 432582

CHANTIERS DE FRANCE

DECEMBRE 1981
REVUE MENSUELLE
n° 146

en 1982 ensemble déplaçons les montagnes

ARDENNES ÉQUIPEMENT
Route de Pex 59000 Charleville-Mézières.
Tél. 03 43 93 77 97
Télex ARQUAP 84003 F

les travaux d'infrastructure dans les grands ports maritimes

FIGURE 2.13 – Publicités tirées de *PCM* (1976, 1982) et *Chantiers de France* (1981).

Enfin, l'accroissement de la superficie de la sphère de la production, et le fait que les engins puissent y circuler en toutes saisons (chapitre suivant), rétroagit positivement sur les cadences. Un cycle, vertueux pour les vitesses, s'enclenche : les très grandes plateformes autoroutières sont rendues possibles par ces machines ; la taille de ces nouvelles plateformes facilite, en retour, la manœuvre des plus lourds engins à gros rendement (qui n'auraient pu être utilisés sur des chantiers, relativement exigus en comparaison, de lignes de chemin de fer au

181. *L'Équipement Mécanique* (nov., déc. 1965) ; *RGRA* (mai 1972) ; *Travaux* (avr. 1974).

182. Ce pneu, qui apparaît en 1939-40 mais s'impose surtout dans les années 1960, a la particularité d'avoir un grand volume d'air, essentiellement grâce à sa largeur plus importante, ce qui permet de supporter de fortes charges à des pressions modérées et ainsi diminuer la pression au sol et donc les phénomènes de tassement et d'orniérage (*RGRA*, mai 1976).

183. Devaux, *op. cit.*

184. *Travaux* (mars 1997, p. 38).

185. *RGRA* (mars 1972) ; *Travaux* (avr. 1974, p. 7).

milieu du XIXe siècle). Au-delà des plateformes, les voies spéciales, désormais pour les engins sur pneus, sont un facteur essentiel de rendement¹⁸⁶. Outre le besoin de concevoir des ponts capables de les supporter¹⁸⁷, il est nécessaire de créer une piste de toute pièce¹⁸⁸, soit à travers champs soit en suivant sur un des côtés une voie publique. Les machines puissantes et rapides dépendent de la qualité de ces pistes de chantier qui doivent être convenablement aménagées. Elles doivent meurtrir le moins possible les pneus et assurer une portance suffisante pour des essieux qui dépassent souvent les 50 tonnes¹⁸⁹. Les engins de servitudes (niveleuses¹⁹⁰ et compacteurs rapides) ont donc un rôle clé dans la création et le maintien du bon état de ces pistes de circulation – i.e., dans l’entretien de la sphère de la production¹⁹¹. Les pistes de chantiers restent au cœur des guides autoroutiers¹⁹². La transformation des chantiers sur un siècle est spectaculaire. Dans le dernier tiers du XXe siècle, la description d’un chantier est souvent réduite aux machines présentes, à leurs rendements journaliers et aux milliers de chevaux qu’elles représentent¹⁹³.

2.4 Traces socio-écologiques

Les immenses volumes de matières déplacés à partir de la Grande Accélération doivent beaucoup aux machines et à leur bon fonctionnement. Les conséquences socio-écologiques de cette substitution du travail par du capital dans le transport des terres sont nombreuses.

186. “La quantité d’ouvrage faite par un rouleur augmente sensiblement par l’emploi d’un bon système de chemins en planches, bien unis et souvent nettoyés avec la pelle” Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 240 ; ces “voies provisoires” sont étudiées en particulier lors des chantiers de chemin de fer, où elles servent à des rails temporaires, comme les célèbres “voies Decauville”, qui facilitent le transport de terre par wagonnets : Debaube, *Tome premier, op. cit.*, p. 240-250 ; Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, chapitre VIII.

187. Sur un tronçon de l’autoroute du Nord, la possibilité du passage des motorscrapers chargés de 100 t sur un viaduc est un élément clé des rotations – ce qui conduit un article à exiger que la construction des ouvrages d’art intègrent cet aspect (*L’Équipement Mécanique*, avr. 1965, p. 81).

188. Les voies publiques sont exclues : les engins risquent de les encombrer, endommager et salir. Sur un chantier autoroutier, 12 km de pistes provisoires sont créées pour les éviter (*Travaux*, mars 1997, p. 38).

189. Reverdy affirme qu’on “reconnait la qualité d’un entrepreneur de terrassement à la qualité de ses pistes de chantier”. Voir : *RGRA* (fév. 1968, p. 84 ; FC, fév. 1971, p. 6).

190. Le motor-grader, qui dérive des niveleuses tirées par des chevaux et des graders à vapeur, s’impose dans les années 1930. Il est davantage destiné à la finition qu’au transport, et sert surtout dans l’entretien et la maintenance des routes. Voir : A. A. Montealegre, « A global history of the road. Road construction, maintenance and use in Colombia, Argentina, French West Africa, and the Algerian Sahara, 1930-1970 », Ph. D. thesis in History, King’s College London, 2019, p. 91.

191. “lorsqu’il pleut, on doit avoir soin de les saupoudrer de sable ou de décombres, pour empêcher les pieds des travailleurs de glisser. Il faut aussi enlever la terre qui reste adhérente à la brouette, aussi souvent que le besoin s’en fait sentir.” Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 240.

192. C’est la première tâche matérielle à réaliser après la libération des emprises : SETRA et CFTR, *op. cit.*

193. Les chiffres n’évoluent plus tellement depuis le début des années 1970. Reverdy, dans sa maxime 66, affirme qu’avec un parc de 50 000 CV une grande entreprise peut atteindre 10 Mm³ par an (soit 200 m³/an/CV). L’ensemble des engins mobilisés sur la chute d’Avignon, en aval de l’aménagement de Vallabrègues, représente une puissance totale installée de 93 000 CV (*PCM*, nov. 1972, p. 57). Dans les numéros spéciaux dédiés aux terrassements de la revue *Travaux* (mars 1997, sept. 1999, avr. 2000, fév. 2007), les chiffres varient de 30 000 CV (pour 120 engins sur la LGV Perpignan-Figueras) jusque parfois 100 000 CV (pour 300 engins sur le lot 55 de l’autoroute A39).

D'abord, le patronat est libéré d'une main-d'œuvre très active dans les luttes sociales¹⁹⁴. Ensuite, certaines inquiétudes des ingénieurs du XIXe, comme la compensation entre déblais et remblais, s'atténuent fortement après 1945. Ceci se traduit dans les reliefs et les milieux : la part des dépôts et des emprunts dans le total des terrassements croît sensiblement après 1945, tout comme les distances entre ces zones et le chantier ; le tracé de l'infrastructure de transport est envisagé sur tous les types de terrains ; les décapages augmentent. Enfin, une logique nouvelle apparaît, qui n'est pas palpable sur les chantiers : le capital fixe constitué par le parc de machines réclame valorisation permanente, donc changement de relief. Comme les machines qui font baisser le coût du mètre cube sont extrêmement coûteuses, surtout pour transporter une matière sans valeur, le patronat a un intérêt objectif, et vital, à leur utilisation pleine, donc aux transports de gros volumes. Cette exigence, ajoutée au fait que le secteur se concentre, donne du poids à leur lobbying pour de grands chantiers.

2.4.1 Les machines ne font pas grève

Le point de bascule que représente Donzère, en tant que chantier hautement conflictuel, ne peut être compris que dans le long processus de mécanisation qui affaiblit notablement une profession autrefois bien organisée, et pour partie révolutionnaire. Pour l'appréhender, il faut aller plus loin que les archives des ingénieurs, qui n'accordent, en général, une attention aux terrassiers et à leurs gestes que pour discuter des coûts et des dépenses¹⁹⁵. Un article des *Annales des Ponts et Chaussées* de 1883, "Étude sur la situation physique et morale des ouvriers des grands chantiers", doit être mentionné. Son auteur s'étonne que la revue, si riche en documents techniques et scientifiques sur tous les aspects des travaux publics, ne propose "aucune étude ni même aucun renseignement sur la situation physique et morale des ouvriers de nos grands chantiers." Il s'indigne contre la perception du manoeuvre comme simple instrument de travail "soumis à la loi de l'offre et de la demande et représenté par un certain prix de location comme un moteur quelconque¹⁹⁶". Son appel est resté sans suite : quand les textes ne les ignorent pas, le regard est purement utilitariste et méprisant¹⁹⁷. Signe de leur désintérêt, les ingénieurs réservent fréquemment la qualification de terrassier à une machine ("terrassier à vapeur") et évoquent la fatigue des outils, voire parfois des chevaux,

194. "L'affranchissement de la sujétion des grandes accumulations d'ouvriers" est un souhait ancien : Pontzen, *op. cit.*, p. ix ; en 1950, le président du Groupe syndical de constructeurs de matériels de travaux publics explique que la mécanisation du génie civil constitue une promotion ouvrière puisqu'elle libère de la main-d'œuvre qui pourra être transposée en usines où les conditions de travail sont plus stables (*Travaux*, août 1950, p. 654).

195. S'ils apparaissent, ce n'est que dans les calculs de rendements qui sont fonction de leur lancer de terre, de la coordination entre les équipes, ou du maniement des outils.

196. Voir : *Annales PC* (1883, p. 315-345) et Montel, « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement », *op. cit.*

197. Comme ici : "il ne faut pas imposer aux vieux terrassiers de profession un outil d'une nouvelle forme ; ils sont habitués depuis des années à un certain système, avec lequel ils produisent plus de besogne et qu'ils croient préférable à tout autre ; on ne peut agir sur eux que par persuasion, et il faut les convaincre par des expériences répétées" : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 68 ; ou ici : "Quand on n'est pas réduit à former des terrassiers inexpérimentés, mais que l'on peut employer des ouvriers déjà façonnés aux travaux de terrassement, il importe de laisser entre leurs mains les outils auxquels ils sont habitués ; car les innovations en fait d'outillage sont reçues avec dépit et prévention par des ouvriers inintelligents quoique exercés, et le travail en souffre." Heyne, *op. cit.*

et très rarement celle des ouvriers¹⁹⁸. C'est à peine si quelques "drames" sont brièvement mentionnés – en général pour culpabiliser les victimes¹⁹⁹.

Du fait de la multiplication des grands travaux de canaux et chemins de fer dans la première moitié du XIXe siècle, le besoin pour cette main-d'œuvre grandit. Jusqu'à la Première Guerre mondiale, des milliers, et parfois des dizaines de milliers, de terrassiers, au statut très divers²⁰⁰, avec une part importante d'étrangers ou d'ouvriers itinérants²⁰¹, travaillent et suivent les grands chantiers de travaux publics²⁰². Les terrassiers, faiblement rémunérés à la tâche (dix centimes du mètre cube), travaillent en général de dix à douze heures par jour dans des conditions parfois déplorables et avec peu de jours de repos. La pénibilité et la dangerosité du labeur²⁰³, les conditions de vie précaires, l'absence d'hygiène provoquent des accidents fréquents et sont la cause de nombreuses maladies²⁰⁴. Les conditions épouvantables, et la mort de 20 000 travailleurs colonisés, sur le chantier du chemin de fer dit "Congo-Océan"²⁰⁵ ne sont même pas évoquées dans un article que lui consacre la revue *Travaux*²⁰⁶.

198. Une évocation de la fatigue concerne le jet de terre vertical : "il y a lieu de le payer davantage que le jet horizontal" : Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 52.

199. Dans une phrase anodine au milieu d'un long texte, Guillemin déplore que les travaux de terrassement "dévorent quelques fois, trop souvent, hélas! des vies d'hommes" : Guillemin, *op. cit.*, p. 56 ; évoquant les dangers, Heyne explique que le danger est faible si les ouvriers écoutent "attentivement les conseils qu'on leur donne" et ajoute qu'il "peut bien arriver une déplorable catastrophe, et une pauvre charretière ou un chargeur perdront la vie ou l'usage de leurs membres" lors de la chute d'un bloc. Dans le même extrait, voici ce qu'il rapporte : "les accidents frappent surtout ceux qui vont travailler là où ils n'ont rien à faire, souvent aussi ceux qui creusent pendant la nuit et qui sont en état d'ivresse. Les travailleurs, occupés à détacher un bloc de terre, dirigent toute leur attention sur cette masse et devinent très bien, à la grandeur croissante des fissures, le moment où elle va s'écrouler. Par contre, ils se préoccupent très-peu de la sécurité de leurs compagnons de peine, des chargeurs, voituriers et autres, travaillant dans leur voisinage immédiat et trop souvent, quand ils vont jusqu'à crier gare! le mal est fait" : Heyne, *op. cit.*, p. 28-29.

200. Manœuvres locaux, mendiants au canal de Bourgogne ; saisonniers agricoles temporairement disponibles sur la ligne Orléans-Tours ; prisonniers, condamnés de droit commun ou de guerre, déserteurs ou soldats au canal de l'Ourcq, etc. En milieu rural, du fait de l'important linéaire des canaux et chemins de fer, et comme cette activité ne nécessite pas un long apprentissage, les terrassiers sont recrutés au sein des populations locales, parmi les journaliers et paysans de la région, pour la durée du chantier. Voir : Debauve, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle, op. cit.* ; Montel, « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement », *op. cit.* ; D. Setzepfandt, « Le territoire du rail dans le paysage de l'agglomération de Tours (1832-1991) », Mémoire de M2, Université François Rabelais, 2008 ; et le témoignage du préfet de Corrèze qui commente les chantiers de construction chemins de fer en 1888 dans : J. Néré, « Aspect du déroulement des grèves en France durant la période 1883-1889 », *Revue d'histoire économique et sociale* 34.2 (1956), p. 286-302.

201. En particulier des Piémontais – Jean Giono les décrit au début de *Jean le Bleu* –, Espagnols, Autrichiens, Belges, mais aussi des Creusois, Limougeauds, Bretons, et Auvergnats. Ces ouvriers sont parfois recrutés pour briser des grèves ou faire baisser les salaires. J. Giono, *Jean le Bleu*, 3649, Paris, Livre de poche, 1976.

202. Des baraquements démontables suivent l'avancée des travaux : Heyne, *op. cit.*

203. La création de l'Inspection générale des carrières en 1777 qui a dans ses missions le contrôle des terrassements et éboulements souterrains, constitue déjà une preuve des dangers.

204. Apparition d'épisodes épidémiques de fièvre typhoïde ou de maladies intestinales sur les travaux de terrassement du chemin de fer à travers la Varenne tourangelle, entre 1843 et 1851 : Setzepfandt, *op. cit.*, p. 34-35 ; dans les travaux souterrains pour une voie de chemin de fer dans le Bas-Rhin, on dénombre 6 morts et 14 blessés graves : Graëff, *op. cit.*, p. 128 ; les conditions de travail sont déplorables pour construire les tunnels dans les Landes et Basses-Pyrénées : E. Plat, « La naissance du mouvement social dans le midi aquitain 1870-1914 », Thèse de doctorat en histoire, Pau : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2020.

205. A. Londres, *Terre d'ébène : La traite des Noirs*, Paris, Albin Michel, 1929.

206. *Travaux* (nov. 1934).

Progressivement, les individus employés sur les chantiers, issus d'univers différents, se structurent et s'associent²⁰⁷. C'est surtout à la fin du XIXe siècle que se forme une véritable identité professionnelle chez les terrassiers – en particulier dans les villes. Ils soutiennent la Commune de Paris et lancent des grèves et rébellions qui connaissent une forte participation ouvrière. Le premier syndicat de terrassiers naît à Paris en 1887 (en plein travaux pour l'exposition de 1889), un autre en Seine-et-Oise en 1893. L'histoire regorge d'exemples de grèves dans les villes et sur les infrastructures de transport entre la fin du XIXe et la Première Guerre mondiale. Par exemple, en 1888 : à l'été, grève de 3 000 terrassiers à Paris²⁰⁸ ; grève sur le chantier du chemin de fer Brive-Limoges. En septembre 1898, 2 000 terrassiers parisiens cessent le travail et entraînent une grève générale du bâtiment (et une tentative de grève générale interprofessionnelle). Dans les campagnes, le rapport de forces leur est souvent défavorable du fait de l'abondance de main-d'œuvre. Mais il varie selon les saisons : comme les terrassiers sont souvent des paysans de la région, certains étés où les travaux agricoles les réclament, ils se mettent plus facilement en grève sur le chantier en sachant qu'ils pourront travailler aux récoltes²⁰⁹. Dans les Basses-Pyrénées, entre 1891 et 1914, le bâtiment et le terrassement représentent, à part égale, environ 45 % du total des mouvements d'arrêt de travail pour le département²¹⁰. D'autres luttes sont restées célèbres : soixante jours de grève au printemps 1900 au Havre²¹¹, où leur empreinte dans la mémoire ouvrière est aussi forte que celle des dockers²¹². Le mouvement le plus connu, emmené principalement par les terrassiers et les carriers, est celui du printemps et de l'été 1908 dans le Val de Seine. La durée, l'ampleur et la brutalité de la répression (cautionnée par Clémenceau) à leur rencontre marquent les corps et les esprits : six morts au total parmi les ouvriers²¹³. Ce conflit est immédiatement popularisé par le livre des Frères Bonneff²¹⁴ qui écrivent au sujet des terras-

207. Une "Association fraternelle entre les ouvriers paveurs et manouvriers pour les travaux de pavage, de terrassement et d'entretien des routes" est, par exemple, fondée à Lyon au début de l'année 1849.

208. Les ouvriers demandent une hausse du salaire horaire et la journée réduite à neuf heures.

209. Néré, *op. cit.*, p. 293-294.

210. Sur les chantiers du chemin de fer transpyrénéen, ce sont les Espagnols, aux conditions de vie encore plus précaires, qui sont les plus actifs : Plat, *op. cit.*

211. "Figures ouvrières emblématiques, puisqu'ils participent quotidiennement à l'essor de la ville portuaire, les terrassiers havrais effectuent des travaux de déblaiement, de nivelage, de fouille, afin de modifier le relief d'un terrain, de réaliser ou de renforcer certains ouvrages. Ils travaillent le plus souvent dans la boue, la vase et l'eau des égouts." H. Rannou, « De la vase aux pavés, la grève des terrassiers havrais en 1900 », *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique* 125 (2014), p. 21-32.

212. Malgré les nombreuses attaques et provocations policières, le syndicat des terrassiers havrais reste jusqu'à la Première Guerre mondiale l'un des plus puissants piliers du syndicalisme révolutionnaire. Il permet à la ville de devenir un bastion syndicaliste puisant toute sa force dans le syndicalisme d'action directe, ses pratiques et ses méthodes : *ibid.*

213. La grève commence le 2 mai avec des revendications salariales (notamment l'abandon du salaire à la tâche). Le 2 juin, une escorte est attaquée par un groupe de grévistes armés de bâtons ; les gendarmes ont alors poursuivi leurs assaillants qui se sont réfugiés dans une salle où se trouvaient plusieurs de leurs camarades, mais aussi des femmes et des enfants. Deux terrassiers sont fusillés : S. Bianchi, *Une tragédie sociale en 1908. Les grèves de Draveil-Vigneux et Villeneuve-Saint-Georges*, Éditions d'Albret, Comité de recherches historiques sur les révolutions en Essonne et Narosse, Chamarande, 2014.

214. Bonneff, Léon, et Marcel Bonneff. *La Classe ouvrière. Les terrassiers*. Paris : Edition de la Guerre sociale, 1910. Voir Nicolas Hatzfeld. Les frères Bonneff, explorateurs militants du monde du travail dans les années 1990. p. 387-399. Le mensuel *Le Prolétaire* dédie divers articles sur ce massacre : "Le prolétariat sait se souvenir : monument en l'honneur de Lefol et Géoberlina, tombés sous les balles françaises le 2 juin 1908" ; "manifestation contre le crime gouvernemental de Villeneuve Saint Georges 30 juillet 1908".

siers : “ils ont acquis la notoriété, ont conquis l’estime du prolétariat, mais ils font peur aux gens paisibles”. Les années suivantes, de nombreuses grèves marquent les chantiers partout en France – en Ariège en novembre 1909, à Rouen au printemps 1910²¹⁵. Des accidents et conflits sont encore courants après 1918²¹⁶. Pour partie du fait de cette histoire de luttes, un imaginaire spécifique, sans doute fantasmé et alimenté par divers témoignages et écrits²¹⁷, a été construit au sujet des terrassiers : celui d’un groupe d’hommes libres, solidaires, généreux et révolutionnaires.

Si les terrassiers restent relativement nombreux sur les chantiers en ville²¹⁸, leur nombre diminue drastiquement²¹⁹, sauf cas exceptionnels (le chantier de Fos qui inclut des constructions de bâtiments ou usines), pour les travaux d’infrastructures de transport depuis le chantier de Donzère-Mondragon. La substitution massive du travail par du capital²²⁰ est, pour partie, soutenue par des syndicats qui voient dans l’arrivée des machines l’espoir d’une baisse du temps de travail. Ces journaux partagent ainsi les louanges des ingénieurs et du patronat, ainsi que les comparaisons individuelles de rendement, pour la mécanisation, tout comme leur demande de davantage de chantiers²²¹. Les revendications des années 1950, telles qu’on peut les lire dans *Le Terrassier*²²², semblent réformistes²²³. En 1943, le patronat des Travaux Publics, crée l’École d’Apprentissage des Travaux Publics à Egletons en Corrèze (devenue “École d’application aux métiers des travaux publics”, elle intègre aujourd’hui l’IUT du Limousin). Cas unique au monde, le but recherché est la formation d’ouvriers qualifiés dans les spécialités

215. *Le Terrassier*, journal de la CGT, rappelle un certain nombre de ces combats de 1890 à 1914.

216. Un charretier écrasé par son tombereau, deux terrassiers morts ensevelis en 1925 près d’Avignon. En 1929, quelques terrassiers envahissent les ateliers et les tunnels du métro de Paris, à coups de pioche et de revolver, pour obliger la CGT à cesser le travail, blessant gravement au moins cinq ouvriers. A Noisy-le-Sec les terrassiers de l’entreprise *Razel* se mettent en grève pendant cinq semaines pour protester contre la mise à l’écart de quelques camarades et exiger leur réembauche. Ils participent, sans surprise, à la grève générale de 1936. Voir : *Le Peuple* (sept. 1925, juin 1933, juin 1936) ; E. L. Shorter et C. Tilly, « Le déclin de la grève violente en France de 1890 à 1935 », *Le Mouvement social* 76 (1971), p. 95-118.

217. La littérature leur rend aussi hommage : Georges Dumoulin ou George Navel qui les a côtoyé à diverses reprises : G. Dumoulin, *Carnets de route, quarante années de vie militante*, Lille, Editions de "l’Avenir", 1938 ; G. Navel, *Travaux*, Paris, Gallimard, 2008, p. 183-184.

218. Même dans ce cas les effectifs tendent à baisser : *Le Terrassier* évoque 300 terrassiers au chômage rien qu’à Paris en janvier 1955.

219. Les chiffres sont difficiles à établir avec exactitude. Il y aurait environ 150 000 ouvriers et terrassiers dans les travaux publics en 1921 (*Travaux*, n°164, 1927, p. 15).

220. Ce résultat n’était pas prévisible si l’on en croit le témoignage d’un syndiqué devant l’Assemblée du progrès social : “lorsque j’étais jeune ouvrier, mes camarades terrassiers avec qui je travaillais me disaient que jamais le machinisme ne pourrait s’introduire dans les travaux de terrassement et qu’on aurait toujours besoin de la pelle et de la pioche” (*Le Peuple*, mai 1933).

221. La CGT paraît favorable aux travaux au service de l’automobile dans Paris, jugeant même l’importance des travaux dérisoires en 1955, tout en soulignant le besoin d’un “programme de travaux pour la paix”.

222. Ce journal accorde une part importante à des combats plus large. Publié illégalement pendant la Seconde Guerre mondiale, il dénonce le régime vichyste et l’impérialisme hitlérien. En octobre 1941, on peut lire “honneur et gloire à tous ceux lâchement assassinés par les barbares fascistes”. Après-guerre, le journal sera résolument anticolonialiste, antimilitariste et contre la course aux armements.

223. Elles portent principalement sur les conditions de travail et les hausses de salaire. Le salaire horaire moyen des terrassiers, en région parisienne ou en province, est le plus bas parmi les métiers de la construction jusqu’au début des années 1950 : INSEE, *Annuaire statistique de la France*, Institut national de la statistique et des études économiques, 1966, p. 422, 424.

de conducteurs d'engins lourds, mécaniciens de chantiers et coffreurs de béton armé²²⁴. Un témoignage du changement d'époque²²⁵ se lit dans une annonce pour une formation dans la revue de la Caisse nationale d'allocations familiales. Le texte précise que les besoins de la profession vont se développer considérablement, puisque même les PME achètent des engins.

“Avant de procéder à toute construction, il est nécessaire de niveler le terrain, de creuser pour établir le sous-sol, les caves, les fondations. Ces tâches, autrefois étaient accomplies par des manœuvres terrassiers. Aujourd'hui, des engins mécaniques interviennent (bulldozers, niveleuses, pelles mécaniques). Le conducteur d'engin remplace donc de plus en plus le terrassier. Celui-ci est chargé de la conduite et de l'entretien des engins. C'est un métier rude, exposé aux variations du temps, sur des machines le plus souvent découvertes, bruyantes et trépidantes. En dehors de la robustesse physique, et de l'attention, les compétences requises sont essentiellement manuelles. Le conducteur peut être amené à réparer son engin. Il est donc bon qu'il possède des connaissances de mécanique, et connaisse la technologie de ses engins. Il faut être soigneux dans le travail, pour entretenir correctement un matériel très coûteux²²⁶.”

Les chantiers se sont vidés dès le début des années 1960²²⁷ et les terrassiers ont été progressivement désorganisés (pour partie du fait de la baisse des contacts physique entre eux puisqu'ils ne logent plus dans les cités et que les machines les isolent dans leurs cabines). Il n'y a que 163 ouvriers pour déplacer 4,4 Mm³ de terre sur un tronçon de l'autoroute A6 – et à peine 3 000 ouvriers sur la totalité des 214 km en chantier²²⁸. Les terrassiers, autrefois nombreux, peu qualifiés et mal rémunérés, sont dorénavant des conducteurs d'engins, qualifiés²²⁹, relativement bien rémunérés, et éparpillés. Le SPTF, créé en 1995, qui regroupe

224. Cette école compte 500 élèves en 1969 (*L'Équipement Mécanique*, nov. 1969). “tout était à faire. La guerre qui avait vu le triomphe de la force mécanique, avait du même coup bouleversé la conception même des matériels de terrassement. Sur les champs de bataille, les bulls et autres engins utilisés par les unités combattantes du Génie avaient atteint un haut degré de technicité et permis des performances étonnantes. Il n'était donc plus question de revenir aux matériels à vapeur lents et encombrants d'avant 1940 et il convenait de former au plus tôt les conducteurs nécessaires à la mise en œuvre des puissantes machines à moteur Diesel. Ces nouveaux matériels, rapides, souples, très élaborés mais délicats, ne pouvaient être confiés qu'à des spécialistes qualifiés ayant suivi une formation technique de qualité les mettant en mesure d'en tirer le rendement maximum sans risque de détérioration ou d'usure prématurée.” explique le directeur de l'École dans *Travaux* (fév. 1976, p. 12).

225. D'autres acteurs en rendent compte : “Le temps n'est pas si loin où un grand chantier de travaux publics offrait le spectacle d'une foule considérable de travailleurs armés de pelles et de pioches, poussant de petits wagonnets chargés de terre, ou d'autres engins plus rudimentaires.” Lacoste, *op. cit.*, p. 132 ; Devaux, plus admiratif, commente : “ces chantiers immenses, le visiteur est surpris de les trouver quasiment déserts. Personne à terre, sauf le conducteur des travaux, semblable à un pilote guidant à bras les mouvements d'un paquebot dans une écluse”. Voir : Devaux, *op. cit.*, p. 110.

226. *Informations sociales* (juin 1966, p. 31).

227. Jusqu'au chantier de Donzère, des cités sont souvent construites pour loger les terrassiers. On trouve une description très précise des logements, magasins, atelier, cantine, écurie, nécessaires aux travailleurs, outils et chevaux dans Heyne, *op. cit.*, p. 207.

228. Voir : *Bull. liaison* (juil.-août 1965) ; *PCM* (déc. 1969). Au plus fort de l'activité des travaux de l'autoroute A89, à l'été 2011, 650 personnes et 220 engins de terrassement ont été mobilisés sur les 25 km du chantier (*Travaux*, juil.-sept. 2012).

229. L'annonce des *Informations sociales* (juin 1966, p. 31) insiste sur l'ascension dans la hiérarchie du travail pour le conducteur d'engins qui a suivi les cours d'une école professionnelle.

22 grandes entreprises (environ 80 % du secteur), revendique à peine 10 000 salariés²³⁰. La conflictualité dans la sphère de la production s'est éteinte²³¹ et les accidents causés par les machines, sont en baisse²³².

2.4.2 Traces sur les reliefs

À partir des années 1960 et 1970, les gains de productivité réalisés grâce à ce matériel puissant font baisser le prix de revient du mètre cube de terrassement. L'emploi intensif de matériel mécanique à partir des années 1950, qui n'est pas propre à la France²³³, se reflète dans la productivité²³⁴ des terrassements (sauf pour les petits chantiers de bâtiment). Au milieu des années 1970, un article estime que le rendement à l'unité de puissance a été amélioré de 50 % en vingt ans²³⁵, et que les nouveaux appareils ont presque divisé par trois le prix du mètre cube terrassé en cinquante ans. Alors que l'indice des Travaux Publics augmente de 100 en 1963 à 122 en 1968, celui du prix des terrassements autoroutiers baisse de 100 en 1963 à 92 en 1968²³⁶. Les conséquences se déploient à trois niveaux : le choix du tracé, qui peut répondre aux nouvelles exigences ; la compensation entre déblais et remblais et de plus grandes saignées.

Tracés tous terrains

Tout au long du XIXe siècle, le facteur T conditionne les tracés. Le problème est physique mais surtout économique – éviter des déplacements coûteux, ainsi que les indemnités à payer, ou les acquisitions de terrains à faire, pour les dépôts ou emprunts. Des chapitres d'ouvrages (“Tracés et Terrassements”) ou de cours (“Cours de projet de tracé et de terrassement”), voire des manuels entiers, réfléchissent aux tracés alternatifs en intégrant l'exigence de minimiser dépôts et emprunts. Le tracé qui donne lieu au minimum de terrassement est évidemment celui où le profil en long du projet se fondrait avec celui du terrain naturel, et où la différence

230. Pour donner un exemple : l'entreprise *Guintoli*, premier terrassier en 1997, compte moins de 1 500 travailleurs (*Terrassements & carrières*, 4ème trim. 1997). La FNTP indique 44 000 travailleurs dans la catégorie “terrassements généraux” en 2019 : FNTP, *TP informations 2019, op. cit.*

231. À notre connaissance, la dernière grève des terrassiers en France, organisée par la CGT *Vinci Terrassements*, remonte à 2011. Sur le chantier de l'A89 près de Lyon, entre 250 et 300 salariés ont cessé le travail, soit 90 % des effectifs (*L'Humanité*, 05/06/2011). Un abandon de chantier par quelque 200 salariés d'un sous-traitant s'est produit en 2015 sur la construction d'une section de LGV (*Le Figaro*, 13/07/2015).

232. Une étude réalisée par la Caisse nationale d'assurance maladie de 1972 à 1974 évalue à cinquante le nombre d'accidents mortels par an dus aux engins de terrassement (*Le bâtiment - bâtir*, oct. 1975, p. 37). Un carrier est décédé en 2020 dans l'explosion d'un pneu d'engin de chantier, identique à ceux utilisés pour terrasser, dans les carrières du Boulonnais (France Bleu Nord, 29 juin 2020).

233. Un rapport britannique de 1955 encense cette transformation en particulier dans les pays “sous-développés” du Commonwealth : Montealegre, *op. cit.*, p. 115.

234. La mesure de la productivité du BTP est délicate, surtout pour le bâtiment où la productivité du petit œuvre est très difficile à quantifier. Les travaux de terrassement échappent à la règle. Le prix du mètre-cube de terrassement reste stable entre 1949 et 1962 alors même que les salaires horaires ont été multipliés par 3,5. Voir : L.-A. Vincent, « La productivité dans les industries du bâtiment et des travaux publics [1949-1962] », *Etudes et conjoncture - Institut national de la statistique et des études économiques* 19.10 (1964), p. 85.

235. Il s'agit d'un calcul réalisé à partir du parc des engins de l'entreprise *Razel*. On passe de 100 à 150 m³/an/CV entre 1950 et 1970 (*RGRA*, mai 1976, p. 161).

236. *PCM* (nov. 1972, p. 40).

entre les côtes du projet et celles du terrain serait nulle partout. *De facto*, les routes épousent les terrains naturels²³⁷. Les parties du tracé à modifier sont généralement celles où les terrassements sont les plus considérables, afin que la modification porte sur une moindre longueur. Le tracé des routes dépend “de la loi suivant laquelle on fera varier les surfaces du déblai et du remblai pendant le terrassement”. Si les totaux des déblais et remblais sont conséquents, l’idée principale est de modifier le profil en long, en relevant quelques parties, de façon à opérer une compensation satisfaisante entre déblais et remblais²³⁸. Le facteur T n’est bien sûr pas la seule variable dans le choix du tracé, chaque type d’infrastructure a ses exigences, y compris en termes de dessertes, et de nombreux terrains ne permettent pas de subordonner le tracé à l’équilibre entre déblais et remblais²³⁹. Toutes les réflexions dans la préparation des profils en long accordent néanmoins une importance centrale à la minimisation des mouvements de terre.

Alors que les puissances des engins décuplent, les ingénieurs se félicitent que la qualité des matériaux rencontrés ne soit plus déterminante dans le choix de la position du tracé. Dans le cas d’un sol “inadapté” à recevoir une infrastructure, autrefois évité, les machines permettent de se débarrasser d’importants volumes de déblais impropres à être utilisés, mis en dépôt hors du tracé, et ramènent de nouvelles terres empruntées ailleurs : “confiant dans les moyens que la technique met à leur disposition, les projeteurs savent qu’il sera toujours possible de passer quitte à augmenter les quantités d’ouvrages par remplacement des matériaux de mauvaise qualité du tracé par d’autres provenant de l’extérieur²⁴⁰”. Un autre extrait est sans doute encore plus clair : “Les progrès réalisés en matière de productivité permettent d’envisager de plus en plus facilement, dans la conception des projets, le déplacement de millions de mètres cubes, sans que ces volumes mis en jeu interviennent pour autant de façon nécessairement prépondérante dans le choix des solutions retenues”. Et de poursuivre : “On hésite certainement de moins en moins à extraire et à remblayer pour modifier la géométrie du terrain naturel et la rendre plus adaptée à l’usage que l’on veut en faire²⁴¹”. Non seulement la production de nouvelles géométries et l’adaptation des reliefs aux infrastructures est permise par les nouvelles machines, mais les tracés doivent moins tenir compte des milieux, ou épouser les terrains, et des voies de communication autrefois inenvisageables sont réalisées²⁴².

237. Durand-Claye, *op. cit.*, p. 54.

238. Sur le canal de la Marne au Rhin, la “première opération a consisté à tracer sur le terrain une ligne continue sur laquelle on eût à peu près, avec le profil en travers normal du canal, la compensation des déblais et des remblais” : Graëff, *op. cit.*, p. 28 ; après le calcul des pentes du tracé provisoire et les cotes de déblai et de remblai, on “cherche ensuite à déplacer l’axe du chemin de façon à réduire l’importance du mouvement des terrains dans des limites compatibles avec celles que l’on s’est imposées pour les déclivités et le rayon des courbes” : Evrard, *op. cit.*, p. 39 ; voir aussi : Pontzen, *op. cit.*, p. 9-10.

239. La construction dans des terrains très sensibles aux influences atmosphériques rend la mise en dépôt des mauvaises terres indispensable.

240. *Travaux* (LR, 1973, p. 32).

241. *Bull. liaison* (mars-avr. 1976, p. 8).

242. Le directeur départemental de l’Équipement en Haute-Savoie explique, dans un registre analogue, que du fait de la “surpuissance des moyens” les maisons ne se construisent plus en s’inspirant du terrain naturel, c’est-à-dire en réduisant au maximum les mouvements de terre (*PCM*, jan. 1978, p. 23).

Fin de la compensation

Comme déjà expliqué, au XIXe siècle, dépôts et emprunts interrogent et inquiètent les ingénieurs sur chaque lot et chaque section d'un tracé. Leur emplacement doit attirer l'attention de l'entrepreneur pour des raisons économiques, puisqu'il faut éventuellement acquérir des terrains le long du chantier²⁴³, mais aussi pour des raisons de sécurité des ouvrages en terre²⁴⁴. Il est souvent préférable en pratique que l'excès se trouve au compte des remblais et de chercher un tracé pour lequel le travail de déblai soit le plus aisé (i.e., les terrains meubles, où on peut utiliser pioche et pelle, et éviter barre à mine). Si au tournant du XXe siècle, la compensation est déjà critiquée et ne doit plus être recherchée à tout prix selon certains²⁴⁵, ce n'est qu'après la Seconde Guerre mondiale que le problème mathématique, et toutes ses variantes, va finalement être résolu par les nouveaux engins²⁴⁶. Le problème physique ne disparaît pas, chaque chantier tourne crucialement autour du facteur T, mais ni la compensation ni la limitation des volumes de déblai ne sont plus recherchées, même théoriquement. Après 1945, les machines multiplient les zones d'emprunts et de dépôts²⁴⁷, les fréquences des mouvements de terre, et augmentent les distances de transport²⁴⁸. Il devient banal de constater un très important volume des dépôts et emprunts, souvent plus de 1 Mm³ et parfois supérieur à un tiers du volume total des déblais²⁴⁹.

Paradoxalement, un retour vers l'ancien idéal de compensation s'observe à partir des années 1970. Pour contrer cette inflation de transport de terre, des études qualitatives sont progressivement développées par les ingénieurs des Ponts et Chaussées pour déterminer la potentielle utilisation des "mauvais" dépôts moyennant un traitement²⁵⁰. À cet aspect pratique s'ajoute, dans les années 1990 et 2000, le paradigme du développement durable et l'attention

243. Les projets comprennent en général l'indication des lieux d'emprunts et de dépôts qui doivent être respectés sous peine d'amendes : Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 289 ; Pontzen, *op. cit.*, p. 3.

244. Les dépôts peuvent déstabiliser les talus voisins (voir chapitre suivant).

245. Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 10-11.

246. Les nouveaux moyens de transport rapides et à grande capacité ont supprimé "la vieille notion de l'équilibre des terres" : Devaux, *op. cit.*, p. 111 ; R. Allégret, *Cours de projet de tracé et de terrassements*, 2ème édition, Paris, Eyrolles, 1963, p. 175.

247. Le renversement de logique est net lorsque Reverdy affirme que la possibilité de multiplier ces zones apporte de la souplesse pour l'exécution des travaux qui se traduit en des gains économiques et de rapidité – "l'entrepreneur aime beaucoup les emprunts et dépôts" (*RGRA*, fév. 1968, p. 71-72).

248. La Grande Accélération est plus évidente encore si l'on considère le mètre cube fois le nombre de kilomètres comme métrique. La distance moyenne, variable selon les engins (un scraper ne dépasse par 1 km) et les infrastructures, est certainement multipliée par trois en quelques décennies. Rarement plus grande que 1,5 km fin XIXe, sauf cas exceptionnels, elle dépasse souvent les 3 à 5 km après 1960. Voir : *L'Équipement Mécanique* (mars-avr. 1964, p. 39) ; *RGRA* (FC, fév. 1971, p. 6) ; *Terrassements & carrières* (1er trim. 1993) ; *Travaux* (mars 1997, p. 38) ; Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 79, 258.

249. Sur l'autoroute A6, entre Champforgeuil et Arnas, il manque 6,4 Mm³ de terre : neufs zones d'emprunts, toutes avec plus de 500 000 m³, sont choisies, des nouvelles pistes longues de plus de 2,5 km sont construites pour les atteindre ainsi qu'un pont provisoire (*Chantiers de France*, nov.-déc. 1969, p. 3). Sur l'autoroute de l'Est, on compte : 15,8 Mm³ de déblais, 14,75 Mm³ de remblais et 7,5 Mm³ d'emprunts (*PCM*, oct. 1975, p. 65). Sur la LGV Atlantique (*Travaux*, sept. 1986, p. 48), les déblais atteignent 23,3 Mm³ contre 12,9 Mm³ pour les dépôts, 15,5 Mm³ pour les remblais et 5 Mm³ pour les emprunts. Un inquiétant déficit de 5 Mm³ est constaté sur un chantier de l'autoroute A89 (*Terrassements & carrières*, 2ème trim. 1999, p. 14-15). Voir d'autres exemples dans *Bull. liaison* (juil.-août 1965, p. 12) ; *L'Équipement Mécanique* (jan.-fév. 1965) ; *Chantiers de France* (juil.-août 1969, nov.-déc. 1969, mars 1979) ; *PCM* (oct. 1975, déc. 1979).

250. Ces recherches participeront du développement de la stabilisation chimique des terres (chap. 3).

portée à la valorisation des déblais²⁵¹. Les nouveaux guides encouragent explicitement d'éviter les excès de dépôts ou d'emprunts et insistent à nouveau sur l'équilibre des terres dans la planification du projet²⁵². Ni l'optimisation de l'emploi des matériaux rencontrés dans l'emprise des travaux ni l'engagement volontaire²⁵³ à bannir les apports extérieurs ne sont suivis en pratique de baisse drastique des volumes. L'approvisionnement de remblais pour la LGV Nîmes-Montpellier (80 km de lignes nouvelles dont 60 km de LGV, mais aussi 2 nouvelles gares, et 145 ouvrages d'art) et le dédoublement de l'A9 autour de Montpellier (12 km et une soixantaine d'ouvrages d'art) inclut des emprunts qui dépassent les 12 Mm³ de terre²⁵⁴, là où à peine 55 000 m³ avaient été empruntés sur 3,2 Mm³ de terre déplacés sur une ligne de chemin de fer au XIXe siècle²⁵⁵.

Saignées

La vision optimisatrice des ingénieurs dissimule, par construction, les biotopes affectés par les plateformes des infrastructures, les emprunts et dépôts. Comme chaque terre a une qualité spécifique et s'insère dans un écosystème toujours singulier, déplacer X mètres cubes du point A au point B est nécessairement synonyme de bouleversements aux points A et B et sur le chemin qui les relie. La liste des dégâts écologiques des machines, y compris les importantes émissions (GES, PM et NOx²⁵⁶), est longue²⁵⁷. En estimant grossièrement qu'il

251. Un exemple qui rappelle les descriptions du XIXe : "on va ajuster le profil en long de telle sorte que l'on trouve dans les déblais encadrant la vallée les ressources nécessaires pour constituer le remblai, en évitant au maximum le recours à l'emprunt ou des distances de transport prohibitives entre déblais et remblai" (*Bull. liaison*, mars-avr. 2003, p. 6). La gestion optimisée des mouvements de terre est revenue suite au Grenelle de l'environnement (2007) et fait partie de quelques mesures pour des "terrassements durables". Le programme de recherche TerDOUEST, soutenu par l'Agence Nationale pour la Recherche (2008 – 2012) vise une réduction du volume de dépôts, notamment en utilisant le traitement aux liants hydrauliques (chap. 3).

252. "on modifiera en tant que de besoin, le profil en long de manière à conserver l'équilibre des terres et à ne pas générer de déchets dans le cas des excédents de matériaux"; "La recherche de toutes les solutions tendant à l'équilibre des terres devra être une priorité absolue" : SETRA et CFTR, *op. cit.*, p. 10.

253. En 2009, les entreprises de terrassement avaient pris l'engagement, dans une "convention d'engagement volontaire", d'atteindre l'objectif du "zéro apport extérieur" pour 2020. Voir : <https://www.routesdefrance.com/wp-content/uploads/convention-du-25-mars-N-et-B-signee-Meeddar-partenaires.pdf>

254. <https://www.batiactu.com/edito/approvisionnement-remblais-est-il-un-probleme-languedoc-32749.php>

255. Voir le tableau récapitulatif dans : Debaue, *Tome premier, op. cit.*, p. 258. Pour la petite ceinture de Paris, 169 000 m³ sont empruntés pour 4 Mm³ exécutés (*Revue générale des chemins de fer*, sept. 1885, p. 141).

256. Une étude menée en Suisse en 2010 a révélé que les chargeuses sur pneus étaient responsables d'environ 25 % de toutes les émissions de NOx et particules PM provenant des machines de construction. Le mouvement des terres représente environ 10 % des émissions du génie civil : ADEME, RFF et SNCF, *1er Bilan carbone ferroviaire global*, 2009 ; B. Notter et M. Schmied, *Non-road energy consumption and pollutant emissions. Study for the period from 1980 to 2050*, 15-19, Bern : Federal Office for the Environment, 2015 ; H. S. Jassim, W. Lu et T. Olofsson, « Determining the environmental impact of material hauling with wheel loaders during earthmoving operations », *Journal of the Air & Waste Management Association* 69.10 (2019), p. 1195-1214.

257. Les remaniements du sol libèrent de nombreuses particules (ou matières en suspension) dans l'air ou le milieu aquatique. Ceci peut provoquer une eutrophisation, limiter la capacité de photosynthèse de certaines plantes, causer un changement de la morphologie des cours d'eau dû à la hausse de la sédimentation, la perte d'habitat, modifier les possibilités de recolonisation pour certaines espèces, engendrer des risques d'érosion accrus et des dangers divers pour la microfaune. Voir : BIOTOPE et Biogéo, *Etat des lieux de la connaissance*

faut en moyenne un litre de fioul pour un mètre cube déplacé²⁵⁸, on aboutit au total de dix milliards de litres nécessaires pour les terrassements de la production d'espace²⁵⁹.

Au-delà des pollutions, du bruit et de la poussière, dont témoignent, certes parcimonieusement, les descriptions des chantiers, chaque opération – décapage, défricher, débroussailler, niveler, abattre des milliers d'arbres²⁶⁰, creuser, compacter, etc. – affecte radicalement les milieux. Tasser et compacter un sol avec des engins lourds, action omniprésente sur toutes les plateformes, c'est le rendre stérile. Le décapage, le fait de dégager un important couvert végétal, s'accroît sensiblement en volume²⁶¹, et s'approfondit avec les nouvelles machines pour atteindre 30 cm sur les autoroutes (parfois davantage sur les LGV), contre 7 à 10 cm à la fin du XIXe²⁶². Ces marques sont visuellement omniprésentes dans les revues – ce n'est pas un hasard si les plateformes ferroviaires et autoroutières portent parfois le nom de “saignées²⁶³”. Les responsables des chantiers se font discrets sur ces opérations²⁶⁴ et, quand ils commentent la transformation de l'espace, sont enclins à minimiser les dégâts²⁶⁵.

et des attentes des acteurs sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages et les écosystèmes, Rapport final, janvier 2007.

258. Estimation dans *RGRA* (oct. 1992, p. 37). Il faut par exemple 600 000 litres en un mois pour 520 000 m³ sur le chantier de l'autoroute A6 (*Bull. liaison*, juil.-août 1965, p. 24). Un dumper de 35 tonnes consomme 100 litres aux 100 km et la consommation est de 6 Ml de carburant pour déplacer 5 Mm³ à Roissy (*Terrassements & carrières*, 1er trim. 1994, p. 10, 1er trim. 1998, p. 9).

259. Ce chiffre reste dérisoire par rapport à la consommation des véhicules. Quinze jours de circulation autoroutière à 45 000 véhicules par jour émet autant de CO₂ que trente ans de construction et d'entretien d'un kilomètre d'autoroute : IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement*, 114, octobre 2006.

260. Dans ses maximes 19 et 20, Reverdy explique : “il est très difficile de sauver dans les emprises un arbre des griffes du terrassier” ; retirer les souches peut prendre du temps (*RGRA*, fév. 1968, p. 65).

261. Il a été décapé 3,7 Mm³ sur l'autoroute de l'Est, et 2,7 Mm³ sur A29 (pour 4 Mm³ de déblais) ; pour le TGV Nord, le total atteint 4,8 Mm³ (avec 9,5 Mm³ de dépôts). Voir : *L'Équipement Mécanique* (mars-avr. 1964, p. 39) ; *PCM* (oct. 1975, p. 65) ; *Travaux* (juin 1992) ; *Terrassements & carrières* (4ème trim. 1996).

262. Pontzen, *op. cit.*, p. 102.

263. Dans les écrits du XIXe, la saignée désigne aussi l'opération de drainage des talus.

264. Un exemple, très rare au XIXe pour un ingénieur, dans une situation où le remblai est exécuté par voie d'emprunt : “Les traces de ces derniers travaux restent souvent visibles le long de la plupart des lignes, sous la forme de mares où séjournent les eaux, ou bien, dans les endroits secs, des sortes de carrière d'où la végétation a généralement disparu”. Guillemin, *op. cit.*, p. 51.

265. Un exemple avec un article qui reconnaît que l'arrivée de l'autoroute est “un acte brutal pour les lieux qu'elle traverse et un traumatisme pour les populations concernées”. L'auteur insiste sur la radicalité du bouleversement, qui tient aux cadences – “aujourd'hui plus vite qu'hier, quelques mois suffisent à ce qu'une saignée griffe des dizaines de kilomètres de terre, avec à la clef des quantités considérables de sols défrichés et de roches dépenaillées, parfois même définitivement bouleversées” –, tout en affirmant qu'on aurait tort “de crier trop vite au saccage” (*PCM*, déc. 2002, p. 31).



FIGURE 2.14 – Plateformes routières au travers de publicités (*RGRA*, 1968, 1969).

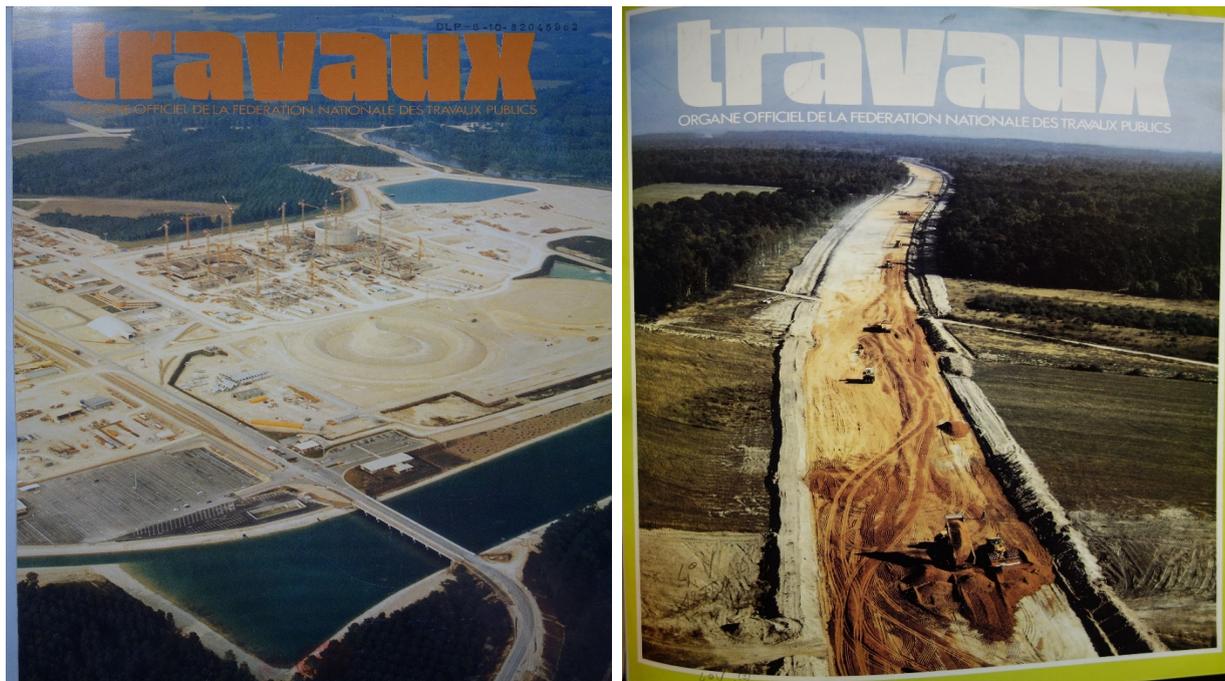


FIGURE 2.15 – Plateformes en couvertures de *Travaux* (sept. 1982, déc. 1987).

La transformation la plus évidente d'un relief se situe en montagne, où la construction de stations de sports d'hiver *ex nihilo*, sous prétexte qu'il s'agit de travaux d'intérêt public, se fait à vive allure dans les années 1960²⁶⁶. De grands travaux de terrassement y sont entrepris pour

266. R. Knafo, « L'aménagement du territoire en économie libérale : l'exemple des stations intégrées de sports d'hiver dans les Alpes françaises », *Espace géographique* 8.3 (1979), p. 173-180.

créer des pistes de ski ou des bassins d'accumulation pour l'enneigement artificiel. Le Congrès de la Fédération Française d'Économie Montagnarde qui se tient en juin 1963 à Grenoble s'émeut "des ravages causés par l'emploi abusif du bulldozer dans les stations alpines pour l'aménagement des pistes de ski". Un ingénieur en chef des Eaux et Forêts explique que toute entreprise de terrassement porte atteinte à l'équilibre hydrologique et encourage les processus d'érosion²⁶⁷. Un article de la revue *PCM* situe la transformation brutale des montagnes à la fin des années 1950. Avec le bulldozer et l'explosif, de "véritables plates-formes routières" (sic) sont exécutées pour "franchir les passages impraticables aux skieurs". Des ravins sont comblés, des tunnels percés dans les crêtes, des brèches artificielles sont construites, des vires sont taillées à l'explosif dans les barres rocheuses, etc. L'intérêt de ces travaux est de permettre l'exploitation des domaines skiables "cloisonnés par des obstacles naturels et de les relier entre eux par des boulevards skieurs forçant ces passages impraticables." L'article constate que ces gros terrassements "laissent d'importantes blessures sur l'épiderme de la montagne, endommageant le paysage et pouvant de plus entraîner l'érosion du sol décapé²⁶⁸".

2.4.3 Prisonnier du capital fixe

Du point de vue des entreprises, la substitution du travail par du capital transforme sensiblement les contraintes : la conflictualité des terrassiers est remplacée par les exigences propres au capital fixe (que constituent les machines en économie capitaliste). En effet, une tension entre des investissements par à-coups et des recettes progressives croît en proportion de l'importance des premiers. Aussi, pour être amorti et rentable, un parc d'engins très onéreux doit-il être utilisé le plus possible, donc exige des grands chantiers en permanence. Le point de vue de l'ingénieur, qui raisonne sur les moyens techniques permettant une hausse de la production est doucement supplanté par le financier qui raisonne en termes de rentabilité – ce qui conduit à de grands gaspillages. Cette logique va surtout servir d'argument au patronat, réduit à une poignée de grandes entreprises, pour exiger des plans de relance lors de périodes de baisse d'activités. Déplions la dynamique historique propre à cette transformation de la sphère de la production.

A partir de Donzère, la forte concentration de machines est une condition nécessaire à la production industrielle des plateformes de terrassement. Dans la pratique spatiale du Fordisme, l'investissement dans de nouvelles machines, souvent étrangères²⁶⁹, est coûteux mais n'inquiète pas la profession²⁷⁰. Tant qu'il y a des débouchés importants et réguliers, la concurrence entre entreprises reste soutenable : par ses programmes de long terme, l'État garantit

267. Sa position est celle d'un préservationniste : "Il serait fâcheux qu'un reproche semblable puisse être adressé aux ingénieurs qui ouvrent des routes forestières, par lesquelles le citoyen moderne s'enfuit à la recherche d'une Nature sauvage, calme et d'apparence vierge. Pourra-t-il s'y détendre et retremper ses nerfs et son âme s'il rencontre désormais partout la lèpre de la boue ou la poussière des terrassements, les formes géométriques des ouvrages d'art, le vernis lugubre de l'asphalte, les gaz d'échappement" : A. Poncet, « Routes forestières et érosion en montagne », *Revue Forestière Française* 4 (1964), p. 285.

268. *PCM* (fév. 1972, p. 21).

269. La plupart du matériel ainsi que la grande majorité des moteurs diesel, est importé. Une petite industrie française spécialisée va connaître un certain succès – par exemple la firme *Poclain* connue pour une pelle hydraulique.

270. Déjà leurs prix étonnent à Donzère, où une drague coûte 700 à 1 000 MF par unité, contre 11 MF pour un tombereau.

des profits qui justifient les investissements élevés. L'annonce du programme autoroutier, comme tout schéma directeur de transport, constitue une illustration prototypique : si les entreprises doivent s'équiper massivement pour répondre aux cadences des appels d'offre, la longue durée des grands chantiers leur garantit une bonne rentabilité. Un changement notoire apparaît dans les discours au tournant des années 1970 : chargés de fascination et d'émerveillement, depuis le XIXe siècle, ceux-ci se transforment en inquiétude. Dans un premier temps, ce ne sont ni les chocs pétroliers ni la baisse des grands programmes d'aménagement (début des années 1980) qui tourmente la profession, mais le gigantisme et le suréquipement généralisé²⁷¹. Ici le schéma régulationniste des dynamiques fordistes se confirme : la crise du milieu des années 1970 est la poursuite logique des ingrédients qui font le succès du secteur²⁷².

Les préoccupations s'affichent lors d'une table ronde au Ministère de l'Équipement, qui réunit maîtres d'ouvrage et entreprises en 1972, organisée sur le thème du "progrès technique sur les chantiers et de la dévolution des travaux²⁷³". Il y est question de "maîtriser le progrès technique" et "obtenir de ce progrès tous les avantages qu'on peut en attendre". La réunion commence avec cette prise de parole : "pour lancer le débat, j'aimerais savoir si, à votre avis, nous ne sommes pas arrivés, à cause de la politique suivie ces dernières années en matière de marchés et plus généralement en matière de maîtrise du progrès technique, à une espèce de suréquipement des entreprises?" Le patron de *Razel* y affirme qu'une entreprise dotée d'un parc de matériel d'un certain âge, n'est pas compétitive pour trois raisons : le besoin d'un très coûteux entretien (avec une pièce de rechange qui coûte jusque deux à trois fois sa valeur à l'intérieur de l'engin) ; des pannes plus fréquentes ; l'obsolescence²⁷⁴. Outre la concurrence entre entreprises, les causes du suréquipement sont, selon ces acteurs : les cahiers des charges édictés par les pouvoirs publics²⁷⁵ ; les délais imposés par le maître d'ouvrage, qui imposent des rendements inatteignables sans un parc d'engins très important²⁷⁶ ; les promesses non tenues de travaux publics de l'État – par exemple quand le nombre de kilomètres initialement annoncé est revu à la baisse. Contrairement au carrier ou au mineur, les machines de terrassement ne fonctionnent pas à temps plein, parfois quelques jours par an pour certaines : l'allocation des ressources par le marché, chère aux économistes néoclassiques, se caractérise donc davantage par le gaspillage que par une optimalité.

Le suréquipement a des conséquences variées : des difficultés pratiques – puisque ces engins énormes sont difficiles à transporter d'un chantier à l'autre (il faut parfois les démonter et les remonter) ; leur manque de polyvalence et inadéquation à de très nombreux chantiers ; le fait que l'augmentation de la capacité d'un engin clé demande l'alignement des autres pour en

271. Le constat, puis la crainte, d'une course au gigantisme et un certain suréquipement, aux États-Unis avant la France, est régulièrement partagé par les ingénieurs et entreprises à partir des chantiers autoroutiers (*PCM*, jan. 1964 ; *Travaux*, LR, 1973 ; *RGRA*, mai 1976, p. 163).

272. Le chiffre d'affaire des entreprises du secteur du matériel de travaux publics double entre 1967 et 1973 (*Travaux*, mars 1974).

273. *PCM* (nov. 1972, p. 27-37).

274. Selon lui, la diminution de rendement peut être de 20 à 30 % en à peine 3 ou 4 ans.

275. Un exemple en technique routière : un article du cahier des charges peut réclamer un poste d'enrobage de 200 t/h même si le volume des enrobés à faire peut être fait en trois mois par un poste de 150 t/h. "Alors les entreprises, pour pouvoir soumissionner, sont obligées d'acheter un 200 t/h qui sera utilisé pendant environ un mois et demi, et restera huit mois sans rien faire" (*PCM*, nov. 1972, p. 28).

276. *PCM* (déc. 1969) ; *Travaux* (sept. 1999).

profiter pleinement²⁷⁷ ; la réparation et la révision de ce parc nécessitent une main-d'œuvre bien formée et un encadrement de plus en plus qualifié²⁷⁸. Le phénomène nouveau qui inquiète le plus, lié au suréquipement, concerne la dévalorisation des engins lorsqu'ils sont inutilisés. Passé un certain seuil, une nouvelle logique, à laquelle les acteurs ont objectivement contribué, va leur être imposée (une sorte de domination sans sujet). Car la valeur à neuf du matériel présent sur un grand chantier dépasse le montant des travaux et atteint parfois le double du chiffre d'affaires annuel²⁷⁹. Les engins de travail et les véhicules de transport constituent plus de 80 % des investissements des entreprises du secteur au milieu des années 1970²⁸⁰. Les coûts induits ont des effets sur l'équilibre financier et la rentabilité de chaque chantier : les coûts de fonctionnement relatifs au seul matériel représentent 50 % des dépenses du chantier, dont 25 % seulement sont consacrés à l'amortissement²⁸¹ (figure 2.16), ce qui correspond à une durée d'amortissement de huit ans²⁸². L'entrepreneur qui veut garder les profits les plus élevés possibles doit pousser le débit horaire au maximum et réduire l'immobilisation du matériel quelques soient les difficultés du climat ou du sol, et le nombre de dépôts ou emprunts²⁸³.

277. *Travaux* (LR, 1973).

278. La simple défaillance d'un matériel peut compromettre la rentabilité d'un chantier, voire occasionner de lourdes pertes (*Travaux*, mars 1974, p. 4).

279. Voir : *PCM* (nov. 1970) ; *Terrassements & carrières* (1er trim. 1993, p. 6) ; *Travaux* (mars 1997). Un article estime que 60 % du chiffre d'affaire du total des matériels de Génie Civil concerne le terrassement – contre 15 % pour les engins de levage, 10 % pour le béton, 6 % pour les routes et 5% pour les matériaux (*Travaux*, mars 1974, p. 3). Au début des années 1990, le groupe *Razel* dispose d'un matériel d'une valeur de 1 200 MF, alors que son chiffre d'affaires est de l'ordre de 2 100 MF (*Terrassements & carrières*, 1994, p. 10).

280. Okalla Bana, *op. cit.*, p. 386.

281. L'amortissement du matériel est évidemment intégré dans tous les calculs du prix de revient du mètre cube de terrassement dès le XIXe. Une machine (excavateur, perforateur ou locomotive) est jugée pertinente si, pour un certain type de terrain, elle permet une baisse du prix du mètre cube en tenant compte de l'amortissement : Heyne, *op. cit.* ; Pontzen, *op. cit.* ; Debaue, *Tome premier, op. cit.*, p. 79, 133 ; s'il est particulièrement déterminant pour les terrassements, le besoin d'amortir des coûts fixes importants est commun, au-delà des caractéristiques propres à chaque configuration, à de nombreux secteurs (agricole, industriel, etc.). Par exemple pour les chambres à plomb au début du XIXe : J.-B. Fressoz, *L'apocalypse joyeuse : une histoire du risque technologique*, Points, Paris, Seuil, 2020, p. 184-186.

282. Environ 45 % du chiffre d'affaire est consacré au matériel, et dans ces dépenses 30 % sont dues à son amortissement : 13,5 % des dépenses sont de la "consommation de matériel" (*RGRA*, oct. 1992, p. 37).

283. *L'Équipement Mécanique* (jan.-fév. 1968) ; *Travaux* (LR, 1973, mars 1997).

	Ventilation en % du coût journalier de chaque engin					Total
	Carburant et lubrifiants	Pneus	Main-d'œuvre de conduite	Amortissement	Pièces de rechange et frais d'atelier	
Scraper (16-23 m ³) (415 CV)	8	12	13	35	32	100
Bulldozer (380 CV)	8	—	15	27	50	100
Régaleur-Compacteur à pieds (360 CV)	8	—	18	39	35	100
Malaxeur rotatif (315 CV)	4	5	15	32	44	100
Epandeur de chaux (8 m ³ , 80 CV)	5	3	39	19	34	100
Rouleau à pneus (25 t, 110 CV)	4	5	24	54	13	100
Rouleau vibrant automoteur (8 t, 80 CV)	4	4	17	47	28	100
Rouleau vibrant tracté (sans tracteur) (15 t, 110 CV)	4	—	—	48	48	100
Balayeuse-Arroseuse	5	2	32	39	22	100

FIGURE 2.16 – Coûts journaliers relatifs de quelques matériels de terrassement. La part de l'amortissement domine²⁸⁵.

Cette nouvelle configuration, due aux exigences propres à la forte concentration de capital fixe, s'observe dans trois mouvements : orientation des grandes entreprises vers l'exportation²⁸⁶, émergence d'un secteur de la réparation, de la location et des pièces détachées²⁸⁷, engouement pour les locations de machines et de chauffeurs adaptés à chaque chantier²⁸⁸. La conséquence majeure tient au pouvoir que les patronats retirent du capital fixe. En dramatisant continuellement leur situation à partir des investissements consentis, ils s'appuient sur ces données objectives pour exiger de l'État des chantiers immenses et permanents²⁸⁹. Comme les grands programmes de nouvelles constructions sont moins réguliers que pendant le Fordisme, cette tension est devenue la norme. Tant que les grands aménagements se

285. *Travaux* (LR, 1973, p. 40).

286. Les exportations de matériel de travaux publics augmentent drastiquement dans les années 1960 et jusqu'au début des années 1980 (*L'Équipement Mécanique*, mai 1968 ; *Travaux*, mars 1974, p. 5). On constate une baisse de 25 % de la production, mais une nouvelle hausse de 15,5 % des exportations entre 1973 et 1982 (*Chantiers de France*, nov. 1982).

287. Le Syndicat des National des Négociants, Réparateurs de Matériels de Travaux Publics, de Bâtiment et de Manutention (NRMTP), qui devient Distributeurs, Loueurs et Réparateurs (DLR), est créé en 1965 (*Chantiers de France*, avr. 1975 ; *Travaux*, avr. 1980). Une partie du succès de l'entreprise *Caterpillar* vient de son assistance technique pour ses machines : E. C. Orlemann, *Caterpillar chronicle : the history of the world's greatest earthmovers*, St. Paul, Minnesota, Motorbooks, 2009 ; Montealegre, *op. cit.*, p. 91.

288. Au début des années 1960 l'entreprise SOCEMAT se spécialise dans la location de petits matériels. Elle est rachetée par *Razel* en 1976 (*Terrassements & carrières*, 1er trim. 1993). Le leasing sur le matériel de travaux publics est encore quasi-inexistant à la fin des années 1970 (*PCM*, déc. 1980, p. 71).

289. La FNTP comme le Syndicat national des industries équipement (MTPS, créé en 1949), dont 55 % du chiffre d'affaire total concerne le matériel de travaux publics, se réjouissent du plan de relance de 1975 qu'ils avaient souhaité (*Chantiers de France*, juil.-août 1975, sept. 1975, juin 1977 ; *RGRA*, mai 1976, p. 163).

maintiennent, les investissements massifs, obligatoires pour être concurrentiels, sont amortis. Dès qu'une stagnation survient (une baisse du volume d'activité ou une réduction des crédits), surtout après une période soutenue²⁹⁰, les exhortations à la relance reviennent. Les conséquences d'un report ou annulation d'un programme sont systématiquement jugées "très graves pour la profession qui a considérablement investi dans du matériel spécifique et en formations d'équipes spécialisées capables de réaliser à la satisfaction des maîtres d'œuvre et des maîtres d'ouvrage²⁹¹". Enfin, comme l'achat de ce matériel coûteux ne peut être que le fait d'entreprises puissantes, le secteur se caractérise par une concentration continue, avec multiplication des fusions et acquisitions²⁹². Au contraire des carrières, la sphère de la production d'espace appartient à quelques entreprises, bientôt rachetées par des multinationales du BTP (*Vinci*²⁹³, *Bouygues*, *Eiffage*, *Fayat*). L'entreprise *Razel*, rachetée par *Fayat* en 2008, est au cœur de la production capitaliste en France²⁹⁴ et à l'étranger²⁹⁵. En 1995, l'entreprise ne possède pourtant "que" 1 500 machines dont 600 de terrassement lourd²⁹⁶.

2.5 Production d'invisibilités – fin du paradoxe

"On taillait la cité à coups de sabre, et il [Saccard] était de toutes les entailles, de toutes les blessures. Il avait des décombres à lui aux quatre coins de la ville. Rue de Rome, il fut mêlé à cette étonnante histoire du trou qu'une compagnie creusa, pour transporter cinq ou six mille mètres cubes de terre et faire croire à des travaux gigantesques, et qu'on dut ensuite reboucher en rapportant la terre de Saint-Ouen, lorsque la compagnie eut fait faillite. (...) A Chaillot, il aida à éventrer la butte, à la jeter dans un bas-fond, pour faire passer le boulevard qui va de l'Arc-de-Triomphe au pont de l'Alma. Du côté de Passy, ce fut lui qui eut l'idée de semer les déblais du Trocadéro sur le plateau, de sorte que la bonne terre se trouve aujourd'hui à deux mètres de profondeur, et que l'herbe elle-même refuse de pousser dans ces gravats. On l'aurait retrouvé sur vingt points à la fois, à tous les endroits où il y avait quelque obstacle insurmontable, un déblai dont on ne savait que faire, un remblai qu'on ne pouvait exécuter (...) Le même jour, il courait des travaux de l'Arc-de-Triomphe à ceux du boulevard Saint Michel, des

290. Il y a suréquipement à chaque fois qu'une période d'intenses productions d'infrastructures, lors de laquelle les entreprises investissent beaucoup, est suivie d'une période baissière suit (par exemple 1981-1985 ; 1990-1994 ; 2009-2012). Dans ce cas, la location est délaissée car les parcs de matériels sont suffisants pour les contrats. D'après le SPTF et un dirigeant de l'entreprise *Razel*, l'utilisation du matériel est divisé par deux entre la fin des années 1970 et le début des années 1990. Dans la foulée, les ventes doublent entre 1993 et 1998 (*Terrassements & carrières*, 1er trim. 1993, p. 6, 4ème trim. 1999, p. 8).

291. *Travaux* (avr. 2000).

292. Lacoste, *op. cit.* ; Okalla Bana, *op. cit.*

293. En 1997, la seule entreprise *GTM* (groupe *Vinci Construction* depuis 2008) déplace 12 Mm³ (*Terrassements & carrières*, 2ème trim. 1998).

294. Celle-ci déplace, à elle seule, en France métropolitaine : 4 Mm³ pour les pistes d'envol entre 1945 et 1960 ; 17 Mm³ pour aménager la Durance entre 1956 et 1968 ; près de 35 Mm³ dans une vingtaine d'aménagements de production d'électricité pour EDF entre 1947 à 1972.

295. Elle réalise d'importants travaux en Algérie dans les années 1960, ainsi que la construction du chemin de fer du Transgabonais entre 1975 et 1986 : *PCM* (nov. 1985, p. 26) ; Okalla Bana, *op. cit.*, p. 355, 475.

296. La plupart sont de la marque Caterpillar, pour un total de 240 000 CV (*Terrassements & carrières*, 4ème trim. 1996, p. 6). Voir : *ibid.*, p. 357-366.

débais du boulevard Malesherbes aux remblais de Chaillot, trainant avec lui une armée d'ouvriers, huissiers, d'actionnaires, de dupes et de fripons²⁹⁷”

Il est temps d'élucider un paradoxe : si le Capitalocène est synonyme de déplacements de milliards de mètres cubes de terre, si les emprunts et dépôts augmentent dans les années 1960-1970, si la profession a connu des mutations radicales, alors pourquoi ce sujet est-il à ce point invisible ? S'il y a des saignées et des oppositions, en particulier contre le bulldozer, il n'en reste pas moins que les réactions ne sont pas proportionnelles aux volumes déplacés. L'hypothèse la plus plausible pour expliquer cette invisibilité tient à l'absence de crises écologiques dramatiques – la terre est très majoritairement “inerte”. Une autre possibilité tient à l'espace-temps de la sphère de la production d'espace. Si au moment du chantier le paysage est défiguré visuellement, souvent à l'abri des regards pour les infrastructures en zone rurale, l'immense plateforme de terre, la saignée, est rapidement dissimulée par la superstructure (au contraire d'une mine à ciel ouvert ou d'une carrière dont l'exploitation dure des décennies). Si on suppose que les conflits ouverts sont, entre autres, proportionnels aux dégâts paysagers, alors cet espace-temps atténue la possibilité de conflits. Pour compléter ces explications, il faut d'une part examiner le devenir des emprunts et dépôts et, d'autre part, penser la trace matérielle dans un temps plus long que celui du chantier. Outre que les dépôts sont souvent immédiatement dissimulés ou réutilisés, deux autres phénomènes contribuent à l'invisibilité : le souci de végétaliser les terres déplacées (qui existe depuis le XIXe, pour des raisons de stabilité) ; la production d'aménagements paysagers (“améliorer le paysage”), par de nouveaux travaux de terrassement. Les traces sont lentement effacées, puis naturalisées, avec le temps – zones de dépôt et d'emprunt sont là, éparpillées dans le paysage quotidien²⁹⁸.

2.5.1 Cachées, enfouies, dispersées (les terres)

Maxime 36 : “aménager un dépôt, c'est le fondre dans le paysage”.

Maxime 37 : “il est difficile de faire de beaux emprunts, il est inadmissible de faire d'affreux dépôts²⁹⁹”.

Il est difficile de rendre compte de l'origine et de la destination des dépôts³⁰⁰ et emprunts car ces données sont en général peu commentées dans les archives – sauf pour des travaux urbains ou les tunnels, lorsqu'il est impossible d'utiliser les débais en remblais. Quelques régularités ressortent toutefois sur le temps long. Toutes sont rattachées au fait que les distances, même si elles augmentent avec les machines, restent faibles de sorte que les terres restent très majoritairement dans la sphère de la production. Les terres exclues de l'équilibre débais-remblais sont dispersées sur des grandes surfaces, enfouies dans les carrières, dissimulées, ou servent à produire d'autres plateformes.

A la différence des milliards de mètres cubes de stériles qui s'entassent dans des terrils (ou crassiers) à proximité des mines de charbon (ou hauts fourneaux), il existe peu de mon-

297. E. Zola, *La curée*, Le livre de poche 349, Paris, Fasquelle, 1984, p. 139-141.

298. Dans une vidéo promotionnelle de Bouygues Construction de 2016, intitulée “Profession terrassier”, un intervenant déclare : “Un beau terrassement est un terrassement qu'on ne voit pas”. Visionnée le 10/07/2021.

299. Reverdy dans la *RGRA* (fév. 1968, p. 65).

300. Sur le chantier de la ligne 1 du métropolitain, les débais sont apportés par tracteurs à hauteur de Vincennes ou Nation, puis emportés hors de Paris, *via* la gare marchande d'Ivry ; d'autres vont jusqu'au quai de la Râpée, et des bateaux s'en chargent – leur destination n'est pas précisée : Désabres, *op. cit.*

tagnes de terre. D’abord, une immense partie des mouvements est tout simplement invisible. La matière draguée dans les ports, environ 35-50 Mm³ par an depuis 1980, est ainsi très majoritairement rejetée en mer (chap. 5). Une solution courante, et comptabilisée comme valorisation, consiste à remblayer les carrières abandonnées – cela concernerait jusque 40 Mm³ par an les dernières années³⁰¹. Ensuite, les gigas mètres cubes des infrastructures de transport sont répartis en remblais tout le long de leur linéaire – les excès en déblais sont tout simplement déposés de part et d’autre de la plateforme (comme la terre excavée du canal sert aux berges et digues) sur des milliers de kilomètres. Enfin, il est parfois possible de répartir des déblais dans l’emprise d’un chantier voisin : 800 000 m³ issus de la tranchée routière réalisée pour la route qui mène à Orly sont mis en dépôt dans l’emprise de l’aéroport³⁰² ; la gare de Perrache à Lyon repose sur un remblai constitué de matériaux empruntés au lit du Rhône³⁰³ ; des plateformes des zones industrielles le long du Rhône sont réalisées avec des matériaux dragués lors des aménagements hydroélectriques³⁰⁴.

Lorsque l’emprise de l’infrastructure ne suffit pas, c’est la dispersion des déblais en excédents dans des espaces voisins du chantier³⁰⁵ qui les invisibilise. Dernier exemple d’invisibilité urbaine : le parc Valbon à La Courneuve, troisième plus grand espace planté de la petite couronne de Paris, qui repose sur 9,8 Mm³ de déblais recueillis dans les années 1960 et 1970³⁰⁶. Malgré ces enfouissements ordinaires, certaines traces restent (très visibles dans les archives) et, de façon beaucoup moins importante que les trous des carrières, viennent entraver la production d’espace.

301. Lorsque cette issue est bouchée, il est envisagé de constituer une montagne qui serve à des pratiques sportives – ski avec neige artificielle et deltaplane (*Terrassements & carrières*, 1er trim. 1993, p. 20).

302. *Travaux* (oct. 1957).

303. Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 386.

304. Les aménagements du Rhône (Pierre-Bénite, Vallabrègues, Vaugris) fournissent des exemples de symbiose entre zones industrielles et aménagement hydroélectrique puisque les déblais des travaux de creusement servent la réalisation de plateforme industrielle (Feyzin, Loire-Saint-Romain-en-Gal, Avignon). Voir : « Visite de l’aménagement de Vallabrègues », dans : *Compte-rendu des onzièmes journées de l’hydraulique (22-24 septembre 1970)*, Utilisation des ressources en eau d’un bassin dans le cadre de l’aménagement du territoire, t. 2, Paris, 1971, p. 54 ; Durey, *op. cit.*, p. 256.

305. En 1901, les déblais de la ligne Paris-Versailles sont apportés dans la plaine d’Issy (terrain idéal puisque proche de Paris et très bas). Sur le chantier d’une petite déviation de la RN12, un riverain négocie le remblaiement de son terrain (environ 150 000 m³). L’article précise même que “l’emplacement était tout à fait central par rapport au chantier ce qui a permis de réduire les coûts” (*PCM*, avr. 1978, p. 73). Sur un lot de l’autoroute A61, on compte une dizaine de zones d’emprunt, 100 ha, pour un total de 3 Mm³ (*PCM*, nov. 1977, p. 77-79). Plus de 2 Mm³ de déblais issus du chantier du barrage-réservoir “Aube” sont répartis sur cinq dépôts, dont un de 36 hectares (*PCM*, fév. 1985, p. 27).

306. M. Legrand, « La mise en ordre écologique des parcs urbains : Savoirs, pratiques et paysages (Exemple d’un grand parc francilien) », Thèse de doctorat en anthropologie de l’environnement, Museum National d’Histoire Naturelle, 2015, p. 104-109 ; M. Fernandez, « La strate du sol d’une mégapole : observations localisées sur l’Anthropocène. Les couches issues des périodes préindustrielle et industrielle à Paris », *Géocarrefour [en ligne]* 92.2 (2018).

2.5.2 Réparer, améliorer le paysage

“Finalement, la terre où nous vivons ne peut pas ne pas évoluer, et la possibilité même de travaux pouvant modifier son visage nous permet dans une certaine mesure de contrôler cette évolution³⁰⁷.”

Effacer les marques des plateformes, des emprunts et dépôts réalisés lors des travaux de terrassement, est une préoccupation constante lors d'un chantier pour des motifs historiques variables : des raisons techniques plus qu'esthétiques dominant au XIXe siècle, alors que l'aménagement paysager devient nécessaire, puis obligatoire, pour faire accepter l'infrastructure à partir des années 1970. Il est significatif que lors de la première discussion sur le thème “route et environnement” à un congrès mondial de la route, à Mexico en octobre 1975, les thèmes incluent, outre le bruit, la pollution de l'air et des eaux, les emprunts et dépôts – qui doivent être réaménagés pour être acceptés³⁰⁸.

L'idée de réparer les dégâts est évoquée dès le premier congrès international pour la protection des paysages, en 1910. Une nouvelle proposition de loi de Charles Beauquier, président de la SPPF et auteur de la loi de 1906 sur la protection de l'environnement, y est présentée. Le second article mentionne explicitement les travaux de terrassement : “Tout exploitant qui modifiera l'aspect visible du sol sera tenu, aussitôt ses travaux achevés, et si possible, à mesure de leur achèvement partiel successif, de réparer le dommage causé à la beauté du paysage, notamment en faisant les plantations nécessaires à couvrir d'un manteau de verdure les excavations, déblais ou remblais qu'il laissera subsister d'une manière permanente³⁰⁹”. Ce projet est original non pas par les pratiques préconisées, qui sont *de facto* déjà courantes depuis quelques décennies, mais par l'expression “réparation du paysage³¹⁰”. Les ingénieurs de la fin du XIXe, très attentifs aux terrains³¹¹, recommandent, en effet, déjà de mettre la terre végétale en réserve pour la réutiliser afin de remettre les emprunts en état d'être culti-

307. *Bull. liaison* (mars-avr. 1976, p. 9).

308. L'exemple de l'autoroute A13 en Normandie est donné à ce congrès. Suite à une opposition des autorités locales quant à l'extraction de matériaux dans une zone d'emprunt de 90 ha à proximité du tracé, un accord est intervenu sur la réalisation, à la place de l'emprunt, d'un plan d'eau, élément principal d'une future base de loisirs (pêche, baignade, navigation) intégrée dans les autres équipements touristiques de la région. La commune intéressée est devenue gratuitement propriétaire de l'infrastructure de cette base de loisirs, tandis que des économies substantielles ont pu être réalisées sur le coût de l'autoroute. “Question VI. La route dans l'environnement”, XV^e Congrès AIPCR, Mexico, 1975, p. 5.

309. Proposition de loi ayant pour objet de réglementer les occupations temporaires sur des terrains classés parmi les sites ou monuments naturels à protéger, présentée par Charles Beauquier le 10 juillet 1908 (*Sites et Monuments*, 1910, p. 28).

310. Lors de ce congrès, un député belge explique le sens d'une loi qu'il a rédigée en 1905 : “Laissons faire l'industrie, mais demandons-lui de nous restituer, au fur et à mesure de ses dévastations et dans les limites du possible, la beauté qu'elle fait enfuir. Obligeons-la à guérir les blessures de la terre, en semant des plants de culture et de croissance aisée, en reboisant les coteaux, en favorisant les végétations de toute manière. Cette obligation, imposons-la, autant aux entreprises publiques et surtout à l'État Chemin de fer, ce vandale sans pitié (sic), ainsi qu'aux entreprises particulières.” (*Sites et Monuments*, 1910, p. 61).

311. Un exemple : “la végétation rencontrée sur les emplacements des travaux fournit parfois des indications fort utiles. Ainsi les herbes marécageuses dénotent un sous-sol imperméable la position déviée des troncs d'arbre est un signe de glissement, sinon d'éboulements survenus depuis leur croissance, etc.” Pontzen, *op. cit.*, p. 11.

vés³¹². Elle doit surtout servir à consolider les talus, dont l'équilibre inquiète (chap. 3), en les recouvrant d'un tapis de verdure. À partir d'études qualitatives très précises (sur le fonctionnement de l'écoulement des eaux, les suintements, le rôle des racines pour s'opposer au déplacement des terres, etc.), ils préconisent, contre les dégradations superficielles des talus, de mettre en œuvre les mêmes méthodes que pour reconstituer les terrains de montagne. Ils discutent longuement des semis, gazonnements, briquettes de gazon, boisements, ensemencement, essences des plantations (luzerne³¹³, genêt, chiendent, saule et osier, robinia, etc.) ou clayonnages³¹⁴. Aucun souci esthétique ou paysager, ni aucune volonté de "réparation", n'apparaît toutefois dans leurs écrits. Cette végétalisation des talus s'est maintenue après 1945, avec d'autres moyens³¹⁵.

Le programme autoroutier, synonyme de balafres sur des milliers de kilomètres, va obliger les institutions à agir pour atténuer les dégâts. Le Service Spécial des Autoroutes, ancêtre du SETRA, met en place la première cellule "aménagement paysager" dès 1958 – avant même les premières constructions de masse des années 1960. Le ton est grave : les dépôts risquent "d'enlaidir éternellement le paysage s'ils ne sont pas correctement aménagés³¹⁶". Non seulement un tracé autoroutier doit ne pas trop marquer le paysage par des "coups de sabre", mais le souhait est aussi de "ménager des vues agréables à l'automobiliste" en s'efforçant de "fondre l'autoroute dans le site traversé³¹⁷". Il faut embellir les saignées qui dégradent les sites et inscrire harmonieusement les autoroutes dans le paysage – y compris en créant une nouvelle végétation³¹⁸. Le besoin de construire en minimisant les dégâts devient la norme légale dans les années 1970. Les études d'impact et la réhabilitation sont rendues obligatoires, pour les grands travaux d'infrastructures, depuis 1976. Les dépôts sont mobilisés comme remblais paysagers, écrans anti-bruits, merlons acoustiques ou comme couvertures partielles des buttes en remblai pour contrer les nuisances des autoroutes³¹⁹. Concernant les terrassements en

312. Debauve, *Tome premier, op. cit.*, p. 279 ; Pontzen, *op. cit.*, p. 518 ; Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 88.

313. "Le trèfle forme quelquefois un bon gazonnement, il réussit moins difficilement que la luzerne ; mais il a les inconvénients des plantes à racines courtes. On le sème quelquefois avec de la graine de seigle ou de trèfle afin de le soustraire à l'action du soleil ou des pluies ; le seigle et l'avoine tiennent en effet d'abord cette plante à l'abri de la sécheresse et d'une trop grande humidité, mais en même temps ils la privent de la quantité d'air et de lumière qui sont nécessaires à son développement. Les agriculteurs ont raison d'agir ainsi quand ils cultivent la luzerne et le trèfle ; mais on doit observer que le seigle ou l'avoine leur fournissent dans l'année une récolte ordinaire et qu'ils ne comptent sur le produit des plantes fourragères que pour les années suivantes, tandis que les semis sur les talus ont pour principal but la protection prompte et efficace des terres contre les influences de la sécheresse et de l'humidité, causes principales des dégradations superficielles." R. Bruère, *Traité de consolidation des talus : routes, canaux et chemins de fer*, Librairie scientifique, industrielle et agricole, Paris, E. Lacroix, 1862, p. 163-164.

314. Tous les auteurs discutent ces techniques : Graëff, *op. cit.* ; Bruère, *op. cit.* ; Evrard, *op. cit.* ; Heyne, *op. cit.* ; Debauve, *Tome premier, op. cit.* ; Pontzen, *op. cit.* ; Durand-Claye, *op. cit.* ; Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*

315. Reverdy ironise sur "le gazon [qui] pousse trop bien sur les planches à dessin" (maxime 47) ; et vante "les plaques de gazon", un "heureux exemple de préfabrication appliquée aux travaux de terrassements" (maxime 48). Sur une section de l'autoroute Lyon-Marseille, 350 000 m² de talus sont revêtus en terre végétale et en gazonnement (*Bull. liaison*, juil.-août 1965, p. 11).

316. Reverdy dans *RGRA* (fév. 1968, p. 65).

317. *PCM* (mai 1966).

318. L'aménagement paysager sur l'A53 se fait par pulvérisation de grains et d'engrais liquides (*L'Équipement Mécanique*, jan.-fév. 1969, p. 61).

319. Voir : *RGRA* (jan. 1976 ; mai 1979, p. 67) ; *Travaux* (jan. 1977) ; *PCM* (fév. 1978, p. 45).

montagne, les plus décriés car les plus faciles à repérer, un auteur se réjouit : “depuis quelques années des efforts importants de réengazonnement et de reconstitution du tapis végétal ont été entrepris pour cicatriser au plus vite ces plaies³²⁰”. Comme pour les carrières, les projeteurs calculent la propension des points d’une future infrastructure à être vus, donc le degré de vulnérabilité du paysage face à d’éventuels aménagements, et se soucient beaucoup d’éviter au maximum le champ visuel des populations résidentes. Une façon courante de procéder consiste à cacher ladite vue, par des plantations ou des dépôts bien agencés³²¹.

Si les volumes de dépôts et emprunts augmentent, il y a aussi davantage d’investissements, et d’obligations, pour les prendre en charge. Comme les carriers, les ingénieurs et entreprises des années 1980 vont plus loin : améliorer le paysage grâce aux remblais, faire de l’aménagement paysager à partir des dépôts, voire des “remblais architecturaux”. Un article admet que, jusque-là, pour la majeure partie des ingénieurs, l’aménagement paysager était synonyme de “quelques arbres ou arbustes plantés en catastrophe et sans étude préalable, de surcoûts inutiles, de difficultés d’entretien insurmontables, d’esthétique rétrograde”. Il est nécessaire, dit-il, d’aller au-delà des plantations et engazonnements afin de servir “l’homogénéité visuelle entre les différents éléments constitutionnels de l’emprise et entre ceux-ci et le paysage environnant³²²”. Le projeteur ne doit pas camoufler, mais mettre en valeur³²³. Cette représentation est omniprésente jusqu’à aujourd’hui, avec le développement de bureaux d’études toujours plus spécialisés. A la centrale nucléaire de Paluel, EDF a fait appel, pour stocker 8 Mm³ de déblais sur le site même, à un architecte-paysagiste pour qu’il détermine la forme extérieure des dépôts, et les transforme en collines artificielles qui s’intègrent au mieux dans le paysage environnant³²⁴.

Avec l’avènement du paradigme du développement durable dans les années 1990, l’aménagement paysager devient omniprésent dans les revues (comme *Terrassements* ou *RGRA*). Les articles, qui admettent les dégâts, cherchent en général à vanter les progrès dans l’insertion écologique et paysagère de l’autoroute³²⁵. Au début des années 2000, il est admis que l’étude du meilleur tracé ne suffit pas : il n’est plus question de “tailler à la hache des déblais pour leur donner une pente invariablement rigide, sans égard pour le relief environnant”. Ceci conduit à l’émergence d’une nouvelle discipline, qui associe paysagiste, géologue et terrassier : la géomorphologie paysagère. Celle-ci imagine les formes qui permettront au déblai de se raccorder de façon harmonieuse aux collines avoisinantes. Les dépôts, merlons et bassins ne doivent plus être perçus comme des pièces rapportées mais comme parties intégrantes du milieu dans lequel ils s’inscrivent. La production d’une seconde nature, apaisante

320. Un article cite les techniques d’ensemencement des talus, “avec projection d’un mélange de graines, de paille, d’engrais et de bitume”. Ces techniques reçoivent des subventions du Service d’Étude d’Aménagement Touristique de la Montagne et sont largement diffusées dans les stations (*PCM*, fév. 1976, p. 21).

321. *PCM* (oct. 1976).

322. Aussi une “liaison harmonieuse entre l’ouvrage d’art et le talus sur lequel il prend appui”, entre “le modelé des terrassements et le relief environnant”. Pour éviter les coupures, on recommande aux ingénieurs d’utiliser des arbres de même espèce que ceux qui poussent déjà dans la région (*PCM*, déc. 1980, p. 43).

323. Les auteurs concluent : “sachons aussi faire en sorte que les blessures que nous infligerons au paysage actuel soient passagères et puissent être, après cicatrisation, le point de départ d’une œuvre nouvelle.”

324. Ces dépôts “ont permis la réalisation de deux collines artificielles permettant ainsi une insertion harmonieuse des installations dans le paysage normand” (*PCM*, oct. 1977, p. 42, jan. 1980, p. 34).

325. Les autoroutes “paysagère” ou “culturelle” apparaissent dans le langage des aménageurs et paysagistes (*PCM*, déc. 1990, déc. 2002, p. 31); Zembri-Mary, *op. cit.*

visuellement, est souvent explicite. “La tradition "terrassière" leur avait longtemps donné une forme très géométrique. Ils étaient même parfois carrément abandonnés, tas de terre informes vite envahis par la friche³²⁶”. Partout sont célébrés ces “terrassements morphologiques” qui améliorent l’intégration paysagère de l’infrastructure. Désormais, les tracés d’autoroutes “respectent” l’environnement³²⁷. Tout semble dorénavant possible pour les terrassiers qui ont la sensation de maîtrise de chaque relief par des engins puissants. En 2008, le SETRA publie une note sur “L’insertion d’une infrastructure routière : concilier terrassements et enjeux paysagers” qui vient normaliser toutes les démarches depuis trente ans³²⁸. L’objectif est de “sensibiliser” le maître d’ouvrage et les équipes chargées du projet aux enjeux paysagers des terrassements pour “l’insertion de l’infrastructure dans le territoire”. Si elle vante l’infrastructure comme “vecteur de promotion des régions et de leurs paysages” (sic), la note reconnaît que son implantation impose ses propres caractéristiques et une nouvelle organisation des lieux. Tout est une question d’image, qui peut être corrigée, puisque les conflits proviennent du décalage entre la nouvelle image du territoire traversé et celles antérieures au projet et communément appropriées. Les aménageurs ont donc intégré que les travaux de terrassement, y compris la répartition et le traitement des déblais et des remblais, ont un impact important dans la fabrication de l’image projetée de l’infrastructure et dans son acceptabilité sociale future. Le terrassier paysagiste, dont l’importance croît avec la possibilité de tensions, admet que les plateformes des grandes infrastructures laissent des traces, mais il prétend pouvoir corriger les dégâts, par les mêmes machines qui les produisent, voire améliorer le paysage et les écosystèmes, à l’aide d’acteurs spécialisés dans le champ économique grandissant de la remise en état. Nous retrouvons l’idée du réaménagement à la carte déjà évoquée dans le chapitre précédent. Au-delà des rhétoriques, qui naturalisent le besoin de productions d’infrastructures, tout ce travail de végétalisation, d’abord pour des raisons pratiques et techniques, puis de réaménagement paysager qui sert à légitimer le projet, a certainement eu son efficace. La focale sur l’insertion paysagère permet de déplacer habilement les critiques qui s’attaquent à la nécessité même des infrastructures.

2.6 Terrasses et terrassements

Ce chapitre prouve que l’Aménagement du Territoire, tant célébré par une certaine historiographie, est une expression, presque un synonyme, du Capitalocène. La production d’espace capitaliste repose sur d’immenses opérations de terrassement dans les chantiers, et d’entretien d’espaces produits (dragage permanent des ports et voies navigables). La période de Grande Accélération est repérable par les nouvelles géométries des plateformes et des reliefs, qui augmentent drastiquement pour satisfaire de nouvelles exigences sociales. En ouvrant la boîte noire qu’est la sphère de la production, dont la superficie grandit sensiblement, nous avons montré que la rationalisation de son organisation spatiale est un élément crucial du problème d’optimisation des transports de terre, et de la hausse des volumes. La façon d’extraire et de transporter des milliards de mètres cubes, comme l’échelle et les cadences, a radicalement

326. Le texte cite une autoroute où certains des champs ne sont en fait que d’anciens dépôts auxquels on s’est attaché à redonner un relief doux avant de les revêtir d’une bonne terre fertile (*PCM*, déc. 2002, p. 33).

327. Voir : *PCM* (déc. 2005) ; *Bull. liaison* (jan.-mars 2009) ; *Travaux* (juil.-sept. 2012).

328. SETRA, *Insertion d’une infrastructure routière. Concilier terrassements et enjeux paysagers*, Note d’information 84, 2008.

changé avec le Fordisme. La substitution de milliers de travailleurs par une accumulation de capital fixe, et l'industrialisation de la production, a eu simultanément des effets importants sur une profession autrefois très organisée et sur la transformation des reliefs. Les écarts entre les pratiques spatiales du Fordisme et Néolibéralisme sont plus faibles. Du point de vue du mouvement des terres, le Néolibéralisme a, semble-t-il, autant aménagé que le Fordisme – avec davantage de pouvoirs confiés par l'État à des acteurs privés³²⁹. Un changement important tient à la concentration du secteur et au fait qu'une poignée de très grandes entreprises gèrent la plupart des grands chantiers. Comme pour les carrières, la production d'invisibilités, par exemple de nouveaux paysages visuellement apaisants, apparaît comme une autre caractéristique de la pratique spatiale du Néolibéralisme.

Un défaut de la focale sur les très grands chantiers, très majoritairement non-urbains, doit être souligné : non seulement elle tend à confondre l'opération de terrassement à des volumes immenses, mais en plus elle escamote les petits chantiers, qui sont quantitativement non-négligeables, et dans lesquels d'autres logiques peuvent prévaloir. Comparons brièvement, pour montrer (à gros traits) les singularités de l'époque récente, les terrassements évoqués dans ce chapitre aux terrasses construites depuis des millénaires, qui s'intègrent à un autre type de pratique spatiale³³⁰. Les cultures en terrasses exigent un important travail de préparation et de construction préalable³³¹. Cette pratique spatiale inclut tout un art très développé de l'empierrement (qui consiste à dégager la terre arable et constituer les pierriers en tas), ainsi qu'une pierre "domestiquée et alliée" pour ces terrasses³³². Aux flancs de raides coteaux, leur agencement soutient de minces lanières de terre ; sur les pentes douces, elles s'étagent en larges bandes, plus accessibles. Ces terrasses, au moins aussi sophistiquées que celles produites par les machines, produisent aussi, lentement, un "paysage". Si elles adaptent le terrain aux cultures, ces dernières, établies dans le sens de la longueur, s'adaptent en retour aux reliefs. Là où ces terrasses, exigües et dispersées, s'opposent à la mécanisation³³³, les activités de terrassement dans les grandes infrastructures l'encouragent. À côté des terrasses, on trouve d'autres aménagements qui varient selon les lieux : murettes, murs de séparation de parcelles, bergeries et enclos d'élevage, aménagement de source, irrigation, chemins empierrés et clôturés³³⁴. Ces terrassements et nivellements, réalisés par des paysans, semblent intégrés dans

329. La part de l'État tombe de 12-16 % entre 1967 et 1976 à 2,5 % en 2019 ; celle des collectivités locales grimpe de 33-38 % à 42,8 % ; le privé atteint les 32 % en 2019 (hors concessions) : FNTP, *TP Informations 1971, op. cit.* ; *idem, TP Informations 1974, op. cit.* ; *idem, TP informations 2019, op. cit.*

330. Une grande diversité des paysages de terrasses sont présents à toutes les époques, de la Méditerranée (jusqu'aux Cévennes et Ardèche) à celles d'Asie de l'Est et du Sud-Est en passant par l'Iran, Oman ou les vallées de l'Himalaya : A. Druguet, « De l'invention des paysages à la construction des territoires : les terrasses des Ifugaos (Philippines) et des Cévenols (France) », Thèse de doctorat en anthropologie de l'environnement, Museum National d'Histoire Naturelle, 2010.

331. Dans la terminologie de Lefebvre, il s'agit d'une "œuvre" et non d'un "produit" : "l'œuvre a quelque chose d'irremplaçable et d'unique, alors que le produit peut se répéter et résulte de gestes et actes répétitifs". Voir : Lefebvre, *La production de l'espace, op. cit.*, p. 85.

332. Y. Rinaudo, « Les campagnes méditerranéennes : de la Terre au Paysage », *Méditerranée* 83.1 (1996), p. 44.

333. J.-F. Blanc, « Deux paysages en terrasses de l'Ardèche », *Revue de géographie de Lyon* 56.4 (1981), p. 391-409.

334. A. Catafau, M. Martzluff et O. Passarrius, « Formation et évolution d'un paysage de terrasses, depuis le Moyen Âge à l'actuel, dans la montagne brûlée de Rodès (Pyrénées-Orientales). », *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques* 135.2 (2011), p. 19-32.

leur pratique spatiale quotidienne. Si lapidaire soit-il, ce comparatisme est intéressant du fait de la production de terrasses jusque tard dans le XIXe en France – ce simple fait souligne qu’une pluralité d’aménagements se font en même temps, au-delà des grands chantiers.

Tout, ou presque, sépare ces “bâtisseurs de paysages”³³⁵ et ceux de notre enquête : les commanditaires, l’échelle, les outils et techniques, leur acceptation sociale, etc. Ce qui change avec l’État moderne, systématiquement partie prenante des transformations décrites ici, c’est l’ampleur et la généralisation des travaux qui renforcent son pouvoir³³⁶. Bien sûr, la finalité des terrassements qu’il promeut varie sensiblement : irrigation, lutte contre l’érosion, aménagement de zones humides, raison sécuritaire ou militaire³³⁷, besoin en énergie, commerce, agriculture, etc. Une autre rupture radicale entre ces pratiques spatiales concerne l’autonomisation d’une sphère dédiée à la production d’espace dans le capitalisme, qui est synonyme de séparation des terrassiers des milieux qu’ils aménagent. Pour le dire avec les mots de Lefebvre, l’espace conçu des Corps d’ingénieurs (Ponts et Chaussées, Génie Militaire, Eaux et Forêts), et les savoirs et techniques qu’ils incorporent, est détaché des espaces qu’ils produisent. Cet écart entre l’espace conçu des uns et l’espace vécu des autres provoque de fortes tensions. L’accumulation d’infrastructures, comme celle autour de Donzère³³⁸, a pour écho une accumulation de conflits depuis des décennies³³⁹. Outre les oppositions et conflits, qui persistent (ligne Lyon-Turin, plateau de Saclay, Grand Paris Express), ces immenses terrassements ne sont pas allés de soi pour une autre raison : les instabilités qu’ils provoquaient. C’est l’objet du prochain chapitre.

335. P. Blanchemanche, *Bâtisseurs de paysages : terrassement, épierrement et petite hydraulique agricoles en Europe, XVIIe-XIXe siècles*, Paris, Editions de la Maison des sciences de l’homme, 1990.

336. L’État français possède une rationalité distincte de celle du capital : Théret, « À propos du rôle de l’État dans la mise en œuvre des infrastructures », *op. cit.*

337. Des centaines de kilomètres de tranchées routières au XVIIIe trouvent leur raison d’être dans le risque du brigandage en forêt, et à celui des embuscades en contexte militaire : X. Rochel, A. Hecker et J.-P. Husson, « Les tranchées routières dans la France de l’Est au XVIIIe siècle : Contribution géohistorique à la question de l’insécurité rurale », *Histoire & Sociétés Rurales* 53.1 (2020), p. 67-92.

338. George affirme que la précipitation était nécessaire pour “mettre les sceptiques ou les timorés en présence d’un grand fait accompli et d’une mise en route irréversible. Aussi doit-on passer aux profits et pertes d’une opération finalement bénéficiaire puisque le travail est maintenant irrévocablement engagé” : George, *op. cit.*

339. En 1949, les riverains protestent suite à l’abaissement de la nappe phréatique et un conflit s’engage, qui ne trouvera sa résolution que dans des indemnités et un investissement supplémentaire dans l’irrigation. Très récemment, un projet de gazoduc, entre le canal et la centrale nucléaire, a été annulé du fait des oppositions et aux dangers objectifs pour la centrale. <https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/le-projet-de-gazoduc-eridan-abandonne-1564512709>

Chapitre 3

Stabiliser la production d'espace

Les immenses mouvements de terre examinés au chapitre précédent sont accompagnés de fortes instabilités. Ce chapitre étudie la dimension qualitative des travaux de terrassement, à savoir la difficile production d'un relief et de sols adéquats aux infrastructures. Il montre le besoin grandissant de savoirs et techniques dédiés à cette question, et explique comment le ciment va contribuer à stabiliser la production d'espace.

3.1 Sphère instable

Un examen attentif de l'évolution du métabolisme des grandes infrastructures, au travers des chantiers, révèle que non seulement des liants hydrauliques, des mélanges qui durcissent sous l'action de l'eau comme le ciment, apparaissent dans le bâti (section 1.2.2), mais qu'ils pénètrent aussi les sols et sous-sols. Si la contribution du béton de ciment à la production d'espace a fait l'objet d'abondantes recherches dans la période qui nous intéresse¹, aucune étude ne s'est intéressée à la présence du ciment dans les sous-sols. Une façon de la rendre intelligible consiste à passer par la grande instabilité des infrastructures. Les ruptures les plus brutales et spectaculaires sont connues et documentées – un pont qui s'effondre à Gênes (2018), un barrage qui se fissure à Malpasset (1959), une panne électrique à New York (2003), etc. Pourtant, à notre connaissance, aucune recherche n'a mis en lumière le fait que la construction même de ces infrastructures, c'est-à-dire avant leur mise en service, est déjà incertaine et instable². Les espaces produits font oublier que la sphère de la production d'espace est très fragile et qu'il faut un intense travail pour réparer ou éviter les ruptures.

3.1.1 Quelque part

Quelque part dans les Bouches-du-Rhône, entre Rognac et Vitrolles, un talus s'effondre lors de l'exécution des terrassements pour la construction de l'autoroute A7, en mars 1969. Comme à Donzère, il s'agit d'une zone fortement aménagée – s'y trouvent, sur quelques kilomètres, raffineries, aéroport, routes (nationale et départementales), et voie ferrée (figure 3.1)

1. En particulier pour la production industrielle de logements pendant le Fordisme : Vayssière, *op. cit.* ; C. Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau. Économie, technique, architecture*, Paris, Editions Parenthèses, 2005 ; Delemontey, *op. cit.* ; C. Simonnet, « Le béton à l'âge du faire », dans : *Sacré béton !*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Libel, 2015, p. 94-101.

2. Cette question est, par exemple, absente de l'épais ouvrage : Bezançon et Devillebichot, *op. cit.*

–, de sorte qu'il a fallu, faute d'espace, effectuer des grandes tranchées de déblais pour y faire passer l'autoroute. De mars à avril, le glissement s'étend sur une profondeur de 20 à 30 m, pour un total de 50 000 m³. La faute est imputée par les ingénieurs aux mauvaises conditions climatiques qui ont conduit à une erreur de mesure et de mauvaises analyses : les conditions d'ouverture du chantier, avec de fortes pluies, sont à l'opposé de celles connues lors des études préalables en 1967, réalisées avec faible pluviométrie³. Avant de réparer les dégâts, les ingénieurs, qui savent la zone instable, redoublent d'efforts : reconnaissances géologiques complémentaires, nouveaux sondages jusqu'à une profondeur de 70 m, nouvelles mesures, nouvelle analyse du régime hydraulique, etc. Les pentes des talus sont réduites à 40 % au mois d'août. Le 27 septembre, nouveau glissement de 5 000 m³, au même endroit : remplacement de la masse glissée par des matériaux calcaires, moins sensibles aux intempéries. L'opération de terrassement pour ce minuscule tronçon est achevée en janvier 1970 et suivie de placage de terre végétale et la mise en place de fossés peu profonds de descente d'eau.

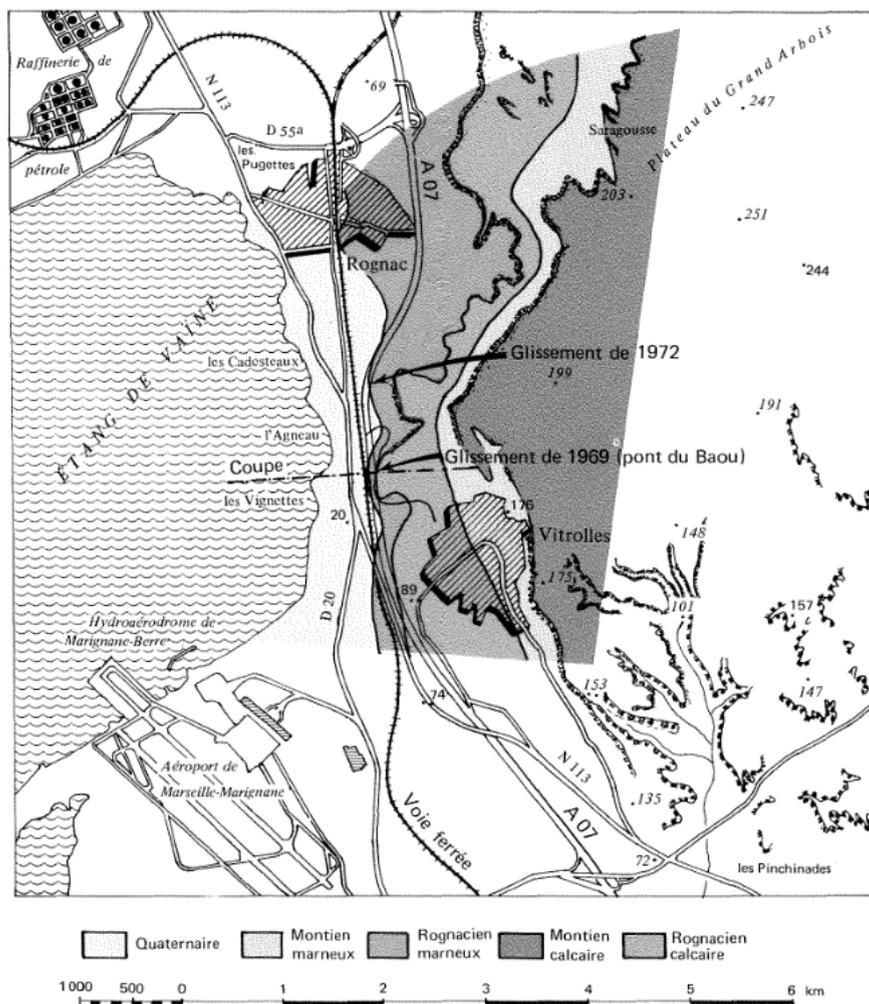


FIGURE 3.1 – Carte des glissements sur l'A74⁴.

3. La plupart des traités sur les travaux de terrassement au XIXe siècle soulignent pourtant le besoin de réaliser les sondages à la saison humide ou après de longues pluies : Heyne, *op. cit.*, p. 289.

4. *Bull. liaison* (spécial III, déc. 1976, p. 71).

Nouveau glissement de terrain en 1972 : 80 000 m³ se détachent, à peine 800 mètres plus loin. Ici c'est l'absence de végétation qui est pointée du doigt : le versant, de pente faible, était à l'origine recouvert d'arbustes qui ont été détruits en partie lors des travaux de débroussaillage de l'emprise puis totalement, en 1970, par un incendie. En avril 1973, alors que le volume glissé atteint 120 000 m³ sur un front d'environ 200 m, les mêmes investigations (sondages, calculs de stabilité, examen de la topographie, etc.) et solutions (nouvelle pente, masque drainant, butée drainante, substitution du talus marneux autoroutier par un massif d'enrochements, etc.) sont appliquées. L'autoroute est finalement mise en service, non sans inquiétudes quant aux possibles nouvelles perturbations à long terme. Dans les années 1960, les revues se remplissent de photographies de ruptures survenues sur les chantiers. Au-delà des glissements et éboulements des talus, la déstabilisation provoquée dans les milieux par le programme autoroutier est générale : les remblais sur sols mous se tassent et se fissurent, les sols s'affaissent, des tunnels s'effondrent, des tranchées s'écroulent, etc.

3.1.2 Au-delà de Gaïa

Comme nous l'avons déjà expliqué (section IV.2), la littérature postmoderne s'est pleinement saisie des instabilités des infrastructures. Elle souligne, inlassablement, le rôle du non-humain comme actant et en conclut que les sols font partie intégrante des infrastructures et, par suite, que celles-ci sont bien plus que de simples systèmes sociotechniques⁵. Ces ruptures nous rappelleraient que le sol est “bien plus qu'une page blanche” et qu'il est toujours instable, alors que “les modernes” ont voulu nous faire croire le contraire⁶. On ne peut se contenter du constat, appuyé par un air de radicalisme, d'un assemblage entre humain et non-humain dont les points de rencontre seraient inexplicables, hasardeux, imprévisibles, et produiraient de nouveaux sens tout en détruisant de vieilles frontières modernes. De telles représentations – que nous réduisons schématiquement à la présence de Gaïa⁷ – ne contribuent pas à rendre intelligible les infrastructures. Les ingénieurs doivent rendre stable le sol des infrastructures, sans doute, mais pourquoi, et de quelle type de stabilité parle-t-on ? Quels

5. Deux exemples : “we analyze instability as a thriving part of infrastructural arrangements. (...) First, we argue that non-human actors generatively participate in infrastructuring processes. In suggesting this we are exploring the role of nonhumans in our world, and particularly how infrastructural relations bring this role to bear. (...) Second, we argue that infrastructures are premised on recursive sets of responses between and within humans and non-humans and on the binding nature of actors' mode of engaging with one another – their response-ability.” Maguire et Winthereik, *op. cit.*, p. 163 ; “the stability of infrastructure depends on the relation and interference between two different infrastructural assemblages : the infrastructure and the more-than-human infrastructure of the earth in and on which the infrastructure is assembled” : Barry, « Infrastructure and the earth », *op. cit.*, p. 188.

6. Dans la littérature francophone contemporaine, Germain Meulemans est le principal représentant de ce type d'approche qui s'emploie à faire exploser de prétendus “dualismes modernes” : G. Meulemans, « Fonder les villes : comment les terrassiers comprennent le sol », *Communications* 105.2 (2019), p. 149-159 ; par exemple : “Modern thinking about the ground tends to take it as a purely material base for the unfolding of history and ideas emerging on its surface.” G. Meulemans, « Solidifying Grounds : The Intricate Art of Foundation Building », *Theory, Culture & Society* 39.2 (2022), p. 75-94.

7. Au sens où ce seraient là des attributs de la Terre comme organisme sentient, ce que Latour nomme, après Lovelock, Gaïa : B. Latour, *Face à Gaïa : Huit conférences sur le nouveau régime climatique*, Les empêcheurs de penser en rond, La Découverte, 2015.

champs et institutions sont impliqués dans cet aspect de la pratique spatiale⁸? Comme le démontre l'enquête historique, bon antidote pour éviter les débats scolastiques⁹, aucun ingénieur "moderne" des travaux publics n'aurait été surpris par les assertions postmodernes¹⁰.

Pour donner sens à ces instabilités, au-delà de l'intrusion de Gaïa, l'enquête s'immisce dans un angle mort des travaux sur le métabolisme social, en prenant au sérieux les aspects qualitatifs des opérations de terrassement. Sans doute parce qu'elles le considèrent comme domaine réservé aux sciences "dures", les sols et sous-sols intéressent peu les sciences sociales (surtout francophones¹¹). Quelques exceptions importantes existent (dont, bien sûr, les archéologues). L'histoire et la mémoire des sous-sols des villes – en particulier Paris – ont été étudiés dans le sillage de Sabine Barles et André Guillaume, qui apportent une alternative aux lectures postmodernes¹². Par exemple, lorsque Guillaume soutient que la modification majeure dans les villes françaises entre 1760 et 1840 est la séparation du sol de son sous-sol par des matières étanches, il la rattache, pour la rendre intelligible, à un ensemble d'institutions clés et de représentations. Selon lui, ceci répond à des exigences de la Société Royale de Médecine qui accuse les eaux stagnantes de tous les maux (la salubrité de l'espace habité passe par l'isolement de la nappe d'eau souterraine et des eaux pluviales). Les grands réseaux techniques sont ici pensés comme produits et vecteurs d'une certaine vision de la ville et de la technique, incorporée par les ingénieurs qui prennent la main sur l'aménagement urbain à partir de la révolution industrielle, qui a conduit à écarter la "nature de la ville", à l'assèchement et l'imperméabilisation des sols en surface, au détriment du sous-sol urbain¹³. Si notre focale est non-urbaine, notre démarche est similaire en ce sens que nous souhaitons comprendre, par l'enquête historique et avec des outils institutionnalistes, d'où provient, et ce que signifie, l'apparition des liants hydrauliques dans le métabolisme des infrastructures. Si le point de vue du sol et sous-sol, sur lequel insistent les postmodernes, est nécessaire pour

8. C'est d'autant plus dommageable que Meulemans étudie précisément les acteurs qui nous intéressent, terrassiers et géotechniciens. S'il entend questionner "l'idée de sol comme page blanche", il n'inscrit jamais ses interrogations dans un cadre plus général que celui de "la pensée moderne" : "Des hommes qui creusent", certes, mais pourquoi? ; "les sols ne sont jamais tout à fait solides", pourquoi et pour qui doivent-ils l'être? G. Meulemans, « Des hommes qui creusent : suivre le sol en pédologie », dans : *(D)écrire les affects. Perspectives et enjeux anthropologiques*, sous la dir. de L. Mariani et C. Plancke, Anthropologiques, Pétra, 2018, p. 299-325 ; *idem*, « Fonder les villes », *op. cit.*

9. L'institutionnalisme historique s'oppose, aussi, au point de vue pragmatique qui réduit tout à un face à face entre un humain et un non-humain. "J'argumenterai que creuser peut être compris comme une pratique à travers laquelle celui qui creuse apprend à être *activement affecté* par le sol qu'il explore. (...) Dans la relation qui s'instaure lors du creusement, le sol devient quelque chose de plus compliqué, qui pose plus de questions, tandis que le pédologue devient un chercheur plus fin, plus animé par son objet." : *idem*, « Des hommes qui creusent : suivre le sol en pédologie », *op. cit.*, p. 300.

10. Les terres argileuses sont souvent représentées comme semi-fluides au début du XIXe siècle. Comme certains construisent des moulins imaginaires pour les démolir, il est légitime de demander si ce n'est pas, parfois, un dualisme imaginaire que le chercheur latourien-ingoldien vient contester.

11. Les "anthropocénologues", à la suite d'un Latour, aiment pourtant à rappeler que cette "nouvelle ère" qu'est l'Anthropocène est sanctifiée par les travaux des stratigraphes, qui la lisent dans le sol justement.

12. Barles, « La pédosphère urbaine », *op. cit.* ; S. Barles et A. Guillaume, « L'environnement souterrain urbain. Une mine pour la recherche », *Les Annales de la recherche urbaine* 64.1 (1994), p. 64-70 ; S. Barles et al., *Le sol urbain*, Paris, Economica : Anthropos, 1999 ; M. Fernandez, « Approche topographique historique du sous-sol parisien (1800 - 2000). La ville épaisse : genèse et évolutions morphologiques », Thèse de doctorat en histoire des techniques et urbanisme, Conservatoire national des arts et métiers, 2014.

13. Guillaume, *Bâtir la ville*, *op. cit.* ; Barles et al., *op. cit.*

saisir quelques difficultés propres aux grandes infrastructures, il est intégré dans les exigences sociales déjà présentées au chapitre précédent. Pour en rendre compte, nous examinons la seconde infrastructure, c'est-à-dire l'ensemble des ingénieurs et institutions qui le prennent en charge (section V.2).

Ce chapitre s'intéresse à l'évolution de l'exigence de stabilité matérielle des grandes infrastructures depuis 1945. Deux séries de questions sont dépliées : pourquoi, depuis quand, les infrastructures sont-elles si instables ? ; quelles réponses sont apportées, pourquoi et comment le ciment sert à les stabiliser ? Partir des chantiers offre un point de vue au plus près des difficultés, telles celles exposées ci-dessus, qui sont le plus souvent insoupçonnables, à moins d'une nouvelle rupture, une fois l'infrastructure achevée. Nous examinons, en particulier, les changements dans les savoirs et techniques mobilisés pour répondre à ces questions. Nous nous efforcerons à penser les chantiers en lien avec les laboratoires afin de saisir les investissements engagés pour stabiliser les reliefs et les sols. Au moment du chantier, les exigences de stabilité sont variées : elles portent sur les milieux (et reliefs) de l'emprise, les sols et fondations des plateformes. La section 3.2 précise l'ampleur des dégâts ainsi que les contours des inquiétudes qui sont proportionnelles aux efforts déployés par les ingénieurs pour stabiliser les ouvrages. Comme un reflet des ruptures matérielles, une rupture cognitive est aisément détectable dans les années 1950-1960. Nous montrons que le développement de nouveaux savoirs, comme la mécanique des sols et la géotechnique, vient répondre aux besoins d'infrastructures stables. En particulier, les solutions que fournit la géotechnique prolongent des opérations déjà banales pour les grands travaux publics au XIXe. La section 3.3 focalise sur la stabilité des fondations et met en évidence la grande rupture que constitue l'utilisation de ciment pour stabiliser les sols. C'est parce que le nouveau bâti doit recevoir des véhicules toujours plus lourds qui sont insupportables aux sols, au sens littéral où ils ne peuvent les supporter, que les recherches sur les fondations conduisent à l'idée de bétonner les sols, de produire des plateformes avec une résistance élevée. Cette technique de stabilisation des sols possède une histoire coloniale dans laquelle quelques laboratoires ont joué un rôle central. La dernière section examine précisément la fonction du ciment dans les travaux publics pour en extraire les traits saillants : matière qui permet une (utopique) libération des sols, contribue à la mécanisation et fournit ce qui manque aux sols pour supporter le bâti (la superstructure). Nous défendons que ces facteurs ont contribué au succès mondial du béton (section 3.4). Dans le système que nous considérons, ce travail de stabilisation du bâti se situe dans les zones des terrassements et des fondations des stocks (figure 3).

3.2 Stabiliser les milieux

Cette section présente, sur le temps long, un ensemble d'instabilités propres à la sphère de la production – qui sont des instabilités de l'infrastructure en train d'être produite, et non pas d'un "environnement" séparé du "social" qui serait instable. Nous identifions d'abord celles qui surgissent avec le programme autoroutier – communes à d'autres infrastructures (3.2.1). Ensuite nous montrons que ceci ne fait que réactiver les instabilités qui viennent avec les premières lignes de chemin de fer. A chaque fois la seconde infrastructure contribue à stabiliser les chantiers (3.2.2). Enfin, nous mettons en exergue le développement inédit de géo-savoirs et géo-techniques qui sont intimement liés à ces instabilités (3.2.3).

3.2.1 Instabilités autoroutières

Produire une grande infrastructure, c'est produire des ruptures dans les milieux traversés. Les chantiers autoroutiers provoquent, dès leurs débuts, d'innombrables instabilités : par centaines, des talus glissent, des éboulements se produisent, des remblais se tassent ou se rompent, des sols s'affaissent et des tunnels s'effondrent¹⁴. Si ces ruptures inquiètent, et réclament une attention spécifique que nous allons déplier plus loin, elles ne forment pourtant pas une crise générale de l'infrastructure – comme celle présentée au chapitre suivant. D'abord parce qu'elles sont cantonnées dans la sphère de la production de l'infrastructure et surgissent avant sa mise en service. Ensuite, et surtout, parce que, comme elles sont présentes dans tous les chantiers autoroutiers, leur gestion est la norme plus que l'exception.

Le caractère systématique des ruptures découle des choix politico-géométriques – déjà présentés en section 2.2.2. Comme les autoroutes ont un grand linéaire, elles doivent s'implanter dans tous les milieux (montagne, marécage, sols compressibles ou argileux, versants peu stables). Ceci requiert, selon les terrains, des ouvrages spécifiques : remblais de grande dimension, viaducs, tranchées de grande hauteur, plateformes étanches ou fondations profondes¹⁵. Les exigences propres à l'économie du chantier interviennent également. Les pentes de talus les moins douces, privilégiées car moins chères à réaliser, sont favorables aux glissements dans certains terrains. Les grandes cadences, qui sont indispensables à l'économie des chantiers autoroutiers, interviennent de deux façons. D'une part, elles vont de pair avec une grande rapidité de chargement des sols qui est défavorable à la stabilité. D'autre part, elles dépassent souvent les vitesses de contrôle des matériaux terrassés, ce qui diminue la prévention d'instabilités futures. Nous verrons plus loin que ces cadences sont justement permises par la production de plateformes insensibles aux intempéries afin de garantir la circulation permanente des engins toujours plus lourds (et éviter l'arrêt du chantier).

Dans l'ensemble, ces ruptures illustrent le fait que ces exigences sont littéralement insupportables pour les sols et les milieux. Elles inquiètent les administrations dès la première autoroute de liaison¹⁶, tant pour des raisons techniques, matérielles que financières. Elles sont d'autant plus vives que les “désordres” observés dans les remblais, tranchées et talus se prolongent dans le temps – des tassements de quelques centimètres sont probables, dans certains passages, pendant plusieurs années – et que le coût de la réparation peut être impor-

14. Par exemple sur l'autoroute de Menton (*Bull. liaison*, spécial R, déc. 1971, p. 187-196).

15. L'étude pour le contournement autoroutier de Nice (10,5 km) prévoit : 5 viaducs, 6 tunnels, 13 ouvrages d'art courants, 22 murs de soutènement, 29 ouvrages hydrauliques, 10 rétablissements de chemin, 3 échangeurs complexes et 2,7 Mm³ de terrassement (*RGRA*, fév. 1976, p. 35). Sur une petite section Pont d'Ouche-Beaune de l'autoroute Paris-Lyon, on trouve au moins trois déblais de plus de 16 m et quatre remblais de plus de 20 m de hauteur (*Chantiers de France*, juil.-août 1969, p. 17). L'exigence des aménagements touristiques de zones littorales envasées (Bas-Languedoc, par exemple) impose de construire des routes sur des sols particulièrement compressibles (*Bull. liaison*, spécial T, mai 1973). L'exigence de pentes douces et d'aménagements en montagnes mène à des tranchées très élevées (*Bull. liaison*, spécial R, déc. 1971). Au XIVE congrès mondial de la route de 1971, le problème de la stabilité des talus est partagé par divers pays en raison “des impératifs en long des autoroutes conduisant à des remblais ou tranchées de grande hauteur” (*RGRA*, mars 1972, p. 97).

16. Les transformations des milieux s'avèrent plus délicates que les études géologiques préalables ne l'avaient laissé prévoir (*Annales ITBTP*, série TP, nov. 1961).

tant. Deux types d'instabilités dominant¹⁷. Celles liées aux milieux traversés : éboulements et glissements des talus, qui peuvent affecter l'emprise du tracé "de l'extérieur"; celles qui sont propres aux sols et aux fondations, comme les fondations d'ouvrages, ou les remblais sur sols compressibles, qui peuvent affecter la future autoroute "par le bas".

Glissements des talus

Les glissements des talus autoroutiers, comme ceux présentés en introduction, sont fréquents, y compris pour d'autres infrastructures¹⁸, et extrêmement bien documentés et analysés, dans les années 1960¹⁹. Une première enquête très partielle dénombre au moins 300 ruptures entre 1963 et 1969. Il s'agit de glissements en terrain meuble, d'éboulements en terrain rocheux, de coulées boueuses ou coulées de débris. Si des glissements de terrain affectent les talus et les versants naturels à la suite d'une forte pluie, les travaux de terrassement (y compris les déforestations) sont fréquemment à l'origine des ruptures²⁰. Dans le cas des talus, les ruptures tiennent surtout à la hauteur des tranchées²¹ qui dépassent souvent 20 à 30 m, parfois beaucoup plus²². Les puissants moyens de terrassement favorisent l'instabilité du fait de l'exécution rapide des tranchées²³. Le problème est pris assez au sérieux au début du programme autoroutier – "un des problèmes les plus délicats en matière de Génie Civil"²⁴ – pour qu'un "Groupe d'Étude des Talus" (GET) soit constitué en 1965-1966 au sein des laboratoires des Ponts et Chaussées. Ce groupe fiche et analyse les centaines de ruptures et synthétise ses résultats dans d'épaisses sommes²⁵.

17. Les ruptures observées concernent quatre types d'ouvrage : remblais construits sur des sols mous; tranchées de déblais; remblais sur versants; le corps lui-même des grands remblais.

18. Lors de chantiers sur des routes nationales (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1975), d'un stade omnisport qui demande un déblai de 20 mètres (*Bull. liaison*, mars-avr. 1971), au barrage de Génissiat (*Laboratoires du BTP*, 1947) et sur les digues du canal à Donzère (*La Houille Blanche*, mars 1955, p. 251).

19. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1964, mai-juin 1967, juil.-août 1967, jan.-fév. 1968).

20. *Bull. liaison* (juin 1974, spécial II, mars 1976, spécial III, déc. 1976).

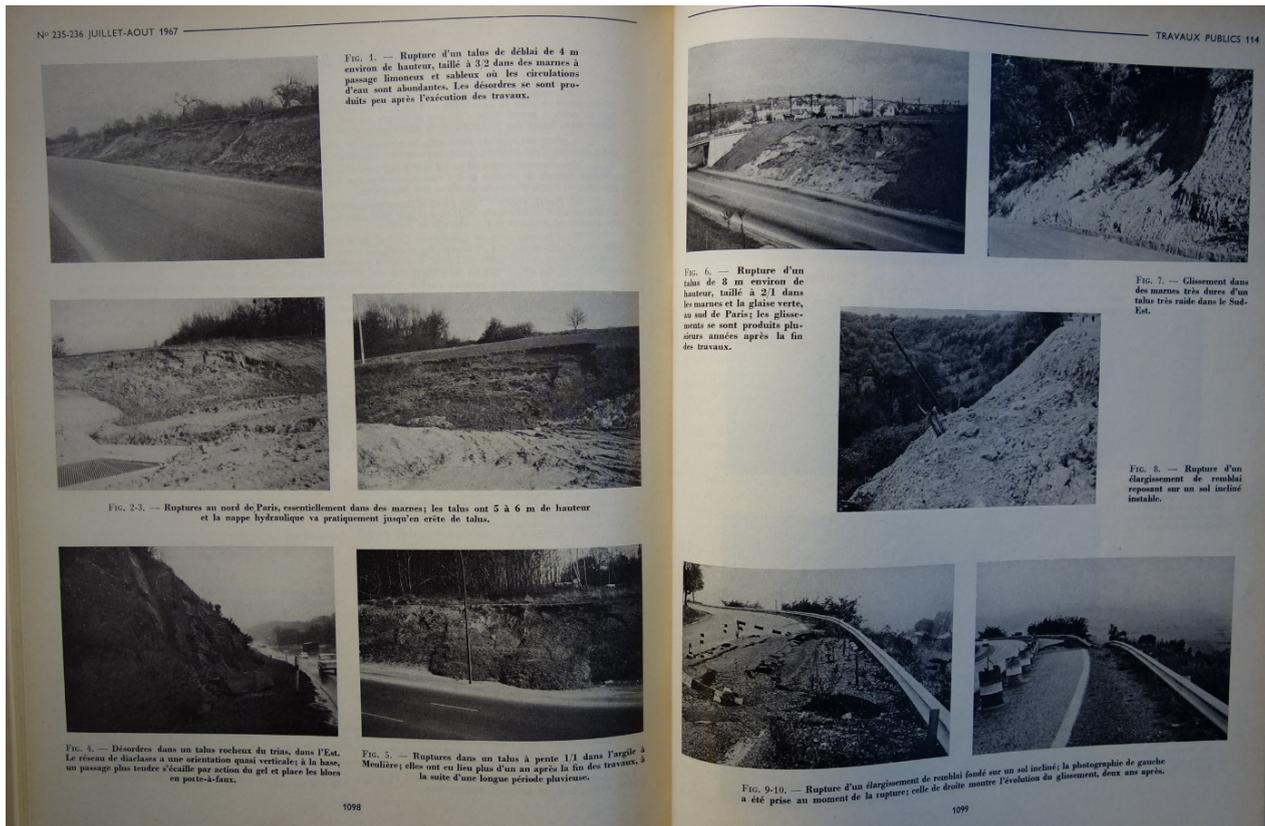
21. La mise en service de moyens de terrassement de plus en plus puissants, les nouvelles caractéristiques géométriques des tracés, l'occupation des sols par d'autres activités (y compris des voies de communication) conduisent les projeteurs à concevoir des talus de plus en plus élevés.

22. Celle de Cluses, sur l'autoroute de Haute-Savoie, exige le dégagement d'un talus de 90 m de haut (550 000 m³ de roche en place).

23. En site argileux, la nappe ne s'adapte pas aussi rapidement, reste suspendue et crée des conditions hydrauliques défavorables : Groupe d'Étude des Talus, *Les glissements de talus routiers. Étude de désordres observés entre 1963 et 1967*, Laboratoires des Ponts et Chaussées, décembre 1968, p. 9.

24. *PCM* (mars 1966).

25. Voir : les numéros spéciaux sur la stabilité des talus (*Bull. liaison*, spécial II, mars 1976, spécial III, déc. 1976) qui se décline en deux parties : I) Versants naturels; II) Déblais et remblais. Et : Groupe d'Étude des Talus, *op. cit.*

FIGURE 3.2 – Glissements de talus routiers²⁶.

Comme le DR le souligne, dans sa présentation du premier rapport du GET en 1968, l'instabilité des talus est simultanément physique (danger pour les ouvrages) et financière. Pour prendre la mesure des difficultés, le coût de réparation (observation, étude, consolidation) est estimé pour les ruptures les plus importantes (figure 3.3). Résultat : le coût économique annuel de ces glissements serait égal, en 1970, à la construction de 4 km d'autoroutes ; il faut compter environ 25 MF pour l'ensemble des réparations et consolidations des talus routiers entre 1963 et 1967. Autre coût : les retards qu'induisent ces glissements. Par exemple, plusieurs mois de retard pour la mise en service de l'autoroute A7 à cause des désordres survenus en 1963-1964 au sud de Vienne²⁷. Enfin, les glissements ajoutent des transports de terre – et les difficultés associées. Ainsi on constate, entre le mois de juillet 1963 et celui de juillet 1964, huit glissements d'un volume total de 65 000 m³ lors de la construction d'une petite section de l'autoroute Lyon-Marseille. Il faut trois jours pour déblayer un glissement de 24 000 m³ et cinq jours pour le remplacer partiellement par 14 000 m³ de gravier²⁸. Le programme autoroutier n'en est qu'à ses débuts – “Il n'y a donc aucune raison de penser que la question de stabilité de talus deviendra moins critique” affirme le premier rapport du GET²⁹. Pour informer et former les ingénieurs aux spécificités des ruptures de talus, une séance de

26. *Annales ITBTP* (série TP, juil.-août 1967, p. 1098-99).

27. *Bull. liaison* (spécial II, mars 1976, p. 21).

28. *Bull. liaison* (juil.-août 1965).

29. Groupe d'Etude des Talus, *op. cit.*, p. 9.

la formation continue de 1971 lui est dédiée³⁰ : les quatre instabilités les plus fréquentes y sont étudiées – remblais construits sur des sols mous ; tranchées de déblais ; remblais sur versants ; corps lui-même des grands remblais. En dépit des précautions et savoirs accumulés, ces ruptures persistent dans les décennies suivantes³¹, y compris pour d'anciens talus ferroviaires³², avec intervention des laboratoires des Ponts et Chaussées pour analyser et apporter des solutions³³.

Quelques exemples de rupture de talus de déblais (enquêtes GET 1963-67 et 1968-73)

Sites	Type du matériau	Dimensions ou volume	Coûts des réparations et observations
La tranchée Colas, autoroute Est de Marseille	Marnes du Stampien	30 m de hauteur, pente de 1/2	250 000 F
Le col du Clauvin, autoroute de l'Estérel	Calcaire et marne de l'Hettangien et argile du Trias	20 m de hauteur, taillé à 1/1	1 000 000 F
Le talus du Piccolaret, autoroute de l'Estérel	Marnes du Trias	40 m de hauteur, taillé à 1/1	plusieurs millions
Le talus de Grand-Croix autoroute A 47 (Loire)	Grès, schistes et poudingues	40 m de hauteur sur 130 m de long	1 200 000 F
La bretelle de Bassens autoroute 62 (Bordeaux)	Argiles et sables argileux	9 m de hauteur, 360 m de long, pente 2/3	719 000 F (63 F/m ³ de talus traités)
CD 37 à Joué-les-Tours (Indre-et-Loire)	Calcaires marneux et argiles lacustres du Sannoisien	9 m de hauteur	500 000 F
La Galaure, autoroute A 7 entre Vienne et Valence (Drôme)	« Sables » de Lens-Lestang, argiles à galets et marnes altérées	23 et 28 m de hauteur, 1,8 km de long, pentes 1/2 et 2/5	2 800 000 F
Échangeur de Belleville, autoroute A 31 (Meurthe-et-Moselle)	Argiles et marnes du Toarcien	6 à 9 m de hauteur, 150 m de long, pente 2/3	204 000 F
Bessey-en-Chaumes, autoroute A 6	Marnes et argile d'altération	18 m de hauteur, 150 m de long, pente 1/2	présence probable d'anciens glissements

FIGURE 3.3 – Coûts des ruptures de talus établis par le GET³⁴.

Remblais sur sols compressibles

L'autre grande instabilité qui tourmente lors des chantiers autoroutiers concerne les remblais sur sols compressibles, nombreux dans le Nord et dans l'Est de la France, qui se fissurent, se tassent ou s'affaissent³⁵. Les préoccupations sont accentuées par d'autres aspects : ces sols

30. *RGRA* (FC, avr. 1971).

31. Le 30 octobre 1989, alors que le chantier sur la A47 Saint Etienne-Lyon s'achève, un glissement de l'ordre de 300 000 à 400 000 m³, un talus de déblais de 20 m de hauteur, a été constaté après des pluies importantes, endommageant un passage supérieur (*RGRA*, oct. 1992, p. 44-52).

32. Entre 20 et 25 interventions sont réalisées chaque année entre 1975 et 1980. Des glissements surgissent lors du dédoublement des voies ferrées du XIXe siècle (*Bull. liaison*, spécial XI, oct. 1981, p. 58-61).

33. Par exemple dans la région PACA dans les années 1970 (*RGRA*, fév. 1976, p. 35). Des appareils sont même construits pour surveiller les glissements de terrains (*RFdG*, 1977).

34. Tableau tiré du *Bull. liaison* (spécial III, déc. 1976, p. 9).

35. La liste des désordres principaux constatés dans les corps de remblai est plus longue : formation de fissures longitudinales et affaissement du profil en long ; rupture généralisée du remblai, avec rupture de la fondation ; interaction avec un ouvrage d'art ; rupture du remblai pendant la construction, par génération de

sont fréquents pour les voies autoroutières³⁶ ; les exigences géométriques des tracés ne permettent pas leur contournement³⁷ ; les remblais sont toujours plus grands, ce qui accroît la possibilité d'une rupture ; même en l'absence de rupture, la charge appliquée par le remblai provoque des tassements qui sont généralement de grande amplitude et de longue durée ; lorsqu'il tasse, le sol de fondation chargé par le remblai entraîne avec lui le remblai et la chaussée. Parmi les causes, outre la "mauvaise" qualité des sols sur laquelle nous reviendrons, les ingénieurs admettent que la production rapide de remblais de plusieurs mètres de hauteur par des machines porte une lourde responsabilité, car elle ne donne pas le temps nécessaire au sol compressible de se stabiliser – c'est pourquoi le sol de fondation peut se rompre sous le poids du remblai. Le débat devient d'autant plus vif que les machines ont fait sensiblement baisser le coût de la production de tels remblais³⁸, les rendant plus intéressant que la solution onéreuse du viaduc³⁹. Certaines autoroutes sont développées presque exclusivement en remblai (parfois de 6 à 7 m de hauteur) sur plusieurs kilomètres⁴⁰.

Le même processus de prise en charge s'observe que pour les glissements de talus⁴¹. Les premières études et constatations effectuées sur des remblais de franchissement de vallées tourbeuses de l'autoroute A1 Paris-Lille ont permis de définir un programme de recherches qui a été réalisé entre 1965 et 1970 par une dizaine d'ingénieurs dans le cadre d'un groupe de travail créé à cette intention, le "Groupe d'Étude des Remblais sur Sols Compressibles" (GERSC⁴²). Comme celui-ci dispose de moyens importants, ses membres vont jusqu'à réali-

pressions interstitielles ; fissurations dues à des tassements différentiels ; etc. Voir : *Annales ITBTP* (série TP, fév. 1964, nov. 1964, juil.-août 1967) ; *Bull. liaison* (nov.-déc. 1964, juil.-août 1965, jan.-fév. 1967, jan.-fév. 1969, sept.-oct. 1972, mars-avr. 1973, sept.-oct. 1981, nov.-déc. 1981) ; *RGRA* (fév. 1970, jan. 1971, oct. 1977).

36. La longueur des traversées de zones marécageuses par les autoroutes est estimée, pour les programmes prévus ou exécutés entre 1966 et 1972, à une dizaine de kilomètres par an. En décembre 1966, le DR s'exprime devant un parterre d'ingénieurs : "ce problème [des ouvrages d'art routier] est tout à fait à l'ordre du jour. La stabilité des terrassements, depuis que nous sommes amenés de plus en plus fréquemment à placer des autoroutes sur des talus de déblais ou de remblais de très grande hauteur, est une question fort importante." (*Annales ITBTP*, série TP, juil.-août 1967, p. 1097).

37. *Bull. liaison* (spécial T, mai 1973, p. 7-10).

38. "Si on estime que l'ouvrage d'art coûte en moyenne deux fois plus cher que le remblai, on peut juger de l'économie importante réalisée sur un programme autoroutier comportant chaque année la traversée d'une dizaine de kilomètres de vallées compressibles sans que cette économie soit acquise aux dépens de la sécurité. Celle-ci est avant tout une question de volume des études et si le maître d'œuvre considère que l'étude d'un remblai revêt la même importance que celle d'un ouvrage, les moyens dont on dispose actuellement permettent une solution sûre." (*Bull. liaison*, spécial T, mai 1973, p.7). "Les nécessités économiques liées à des impératifs géométriques sévères (...) amènent de plus en plus souvent le projeteur routier à choisir, lorsque la configuration des lieux s'y prête, des remblais de grande hauteur plutôt que des viaducs par exemple" (*Bull. liaison*, sept.-oct. 1983).

39. Celui-ci exige aussi d'être stable (*Bull. liaison*, spécial R, déc. 1971, p. 132). Une troisième option consiste à retirer le mauvais sol et le remplacer par des bons matériaux. Ce choix, qui rappelle que les dimensions qualitative et quantitative se croisent (si les matériaux des déblais sont de bonne qualité, alors on peut les réutiliser de manière appropriée en remblais) est peu envisagée car trop coûteuse.

40. Sur l'autoroute du Sud de Paris, dans un passage en Essonne, le choix du grand remblai a été préféré au viaduc (*Annales ITBTP*, série TP, juin 1960). Idem pour l'autoroute A6, qui est entièrement en remblai entre Mâcon et Arnas, de sorte que l'ouvrage soit à l'abri de la crue centenaire de la Saône (*Chantiers de France*, nov.-déc. 1969, p. 2) ; ou l'autoroute A9 dans la basse plaine de Narbonne (*RGRA*, déc. 1969 ; *Bull. liaison*, mars-avr. 1973 ; *PCM*, déc. 1974).

41. Un certain nombre de problèmes sont communs avec le GET, au point que certains ingénieurs travaillent sur les deux problèmes (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1967).

42. Qui devient par la suite "Groupe d'Étude de la Compressibilité".

ser une dizaine de remblais expérimentaux, avec des dimensions de taille réelle (parfois 300 m de long, 30 m de large, 7 m de haut), sur lesquels sont mesurées, pendant six ans, les déformations. L'expérimentation en vraie grandeur a pour objectif d'être extrapolable à d'autres ouvrages. C'est par exemple le cas du remblai de Palavas (figure 3.4), situé dans une région où de nombreux remblais d'accès à des ouvrages d'art doivent être construits dans des conditions analogues à celles du remblai expérimental⁴³, ou l'objectif assigné aux quatre remblais expérimentaux, dont trois intégrables à l'autoroute, réalisés sur différents sous-sols pour le passage de l'autoroute A9 dans la plaine de Narbonne. Les principales mesures à adopter pour éviter les ruptures sont simples : des drainages et une montée progressive des remblais.



Fig. 17 – Remblai de Palavas-les-Flots.

FIGURE 3.4 – Exemple de remblai expérimental sur vase⁴⁴.

L'émergence du problème des remblais sur sols compressibles comme conséquence de l'exigence géométrique d'un tracé n'est pas le propre des autoroutes. On le retrouve, quasiment à l'identique, pour les canaux à la même époque. Une illustration remarquable, puisqu'elle montre non seulement les analogies, mais aussi la contribution du LRPC de Lille (et, par conséquent, l'expertise déjà reconnue des Ponts et Chaussées), est fournie par la liaison fluviale Dunkerque-Valenciennes⁴⁵. Ici aussi, un ancien canal est jugé périmé du fait des nouvelles exigences géométriques : "Adossé au relief du sud de la vallée, l'ancien canal en suivait le contour et son tracé comportait des courbes de faibles rayons très inférieurs au minimum de 1 000 mètres admis sur la grande voie." Le nouveau chantier impose l'exécution d'un certain nombre de dérivations, dont certains traversent des zones tourbeuses. Le volume total des déblais est de l'ordre de 1,3 Mm³. Le plan d'eau étant situé à deux mètres au-dessus des terrains avoisinants, il a fallu constituer avec une part de ces déblais, sur ce sol compressible,

43. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1967, spécial, juin 1972).

44. Le remblai a 80 m de longueur et 21 m de largeur en crête. Il est divisé en deux demi-remblais de 40 m x 21 m, totalement identiques, à part les drains verticaux en sable qui ont été mis en place sous l'un des demi-remblais (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1967, spécial, juin 1972, p. 243). L'image provient de F. Bourges, *Remblais sur sols compressibles. Synthèse des recherches effectuées dans les laboratoires des Ponts et Chaussées*, Rapport de recherche n°10, octobre 1970, p. 24.

45. Celle-ci doit permettre la navigation des convois poussés de 3 000 t (contre 300 t jusque-là).

des digues qui devaient être à la fois étanches et stables. Ici aussi les ingénieurs créent des remblais de taille réelle (une digue de 100 mètres exécutée dans des conditions très voisines de celles du chantier) pour mesurer les futurs tassements⁴⁶.

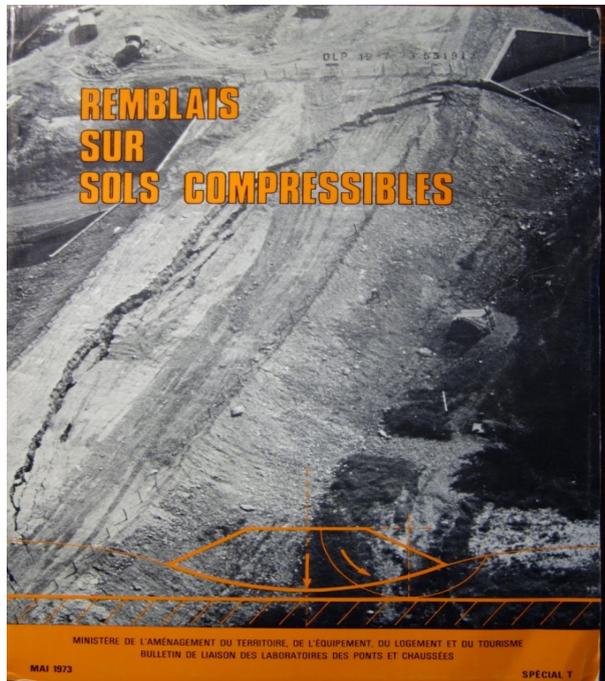


Fig. 35 – Remblai expérimental de Lanester. Expérience de rupture en vraie grandeur.

FIGURE 3.5 – Deux expériences de rupture de remblais expérimentaux⁴⁷.

Contribution de la seconde infrastructure

Comme les cas susmentionnés le suggèrent, les instabilités des chantiers autoroutiers sont largement prises en charge par les laboratoires des Ponts et Chaussées, dont les budgets et effectifs augmentent sensiblement (figure 4). L'évolution de cette seconde infrastructure, et leur souci grandissant pour la géologie et les sols, nous renseigne sur les préoccupations. Dès la création des LRPC, en 1952, le DR juge indispensable d'améliorer l'identification des sols et, partant, de développer de nouveaux savoirs géologiques. La politique de recrutements de ces laboratoires, dont les pouvoirs s'accroissent sensiblement avec le plan autoroutier, reflète cette intention. Le nombre d'ingénieurs dédiés aux études géologiques intéressant les projets d'autoroutes progresse de façon considérable⁴⁸. Un témoin de la création des sections dédiées à la géologie dans les laboratoires explique que celle-ci est concomitante avec les études pour les gisements de granulat (chap. 1).

“Au début de l'année 1960, M. Durrieu me demanda de passer le voir. Il m'informa que les études à conduire en matière de recherche de matériaux pour les fondations de nos chaussées comme en matière de remblais, mais aussi pour les

46. Ils constatent que sous l'effet du compactage et des vibrations qu'entraîne la circulation des camions de 30 t, la plus grande partie du tassement est obtenue assez rapidement (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1969).

47. A gauche, la couverture du *Bull. liaison* (spécial T, mai 1973) ; à droite : Bourges, *op. cit.*, p. 40.

48. En 1962, parmi les 341 employés, le plus gros effectif est, de loin, celui de la section “Sols” (de 66 à 77) – suivi par la section “Bétons” (44) : LCPC, *Rapport général d'activité. Année 1962*, Paris, 1963.

fondations de nos ouvrages d'art l'avaient conduit à décider la création dans les laboratoires régionaux de sections de géologie. Il me demanda alors d'ouvrir la voie en recrutant un géologue qui serait donc le premier géologue affecté dans l'administration des ponts et chaussées. (...) Dans un premier temps la prospection de carrières de sables pour les sous-couches de nos chaussées d'autoroute et l'élaboration des coupes géologiques des vallées traversées par les projets routiers allaient s'avérer rapidement indispensables. Cela passait par des équipements de prospection et de sondages supplémentaires que l'on évoqua aussi. (...) Le recrutement d'un géologue marqua le début d'une période de développement du laboratoire qui sera ininterrompu jusqu'à mon départ fin 1965⁴⁹."

En 1966, les dix-sept LRPC disposent déjà d'une centaine de géologues et géo-techniciens pour encadrer ces études, alors que les effectifs en France atteignent un millier de personnes⁵⁰. Un département de mécanique des sols est créé au LCPC et, à la fin des années 1960, tous les LRPC disposent d'une section "mécanique des sols et géotechnique", "géotechnique routière" ou "géotechnique et fondations". Les lois de comportement des sols et des roches, leurs propriétés chimiques et physiques, sont examinées avec toujours plus de place à la modélisation mathématique. En plus du GET et du GERSC, d'autres groupes, qui réunissent ingénieurs du LCPC et des LRPC, sont chargés d'étudier les sols et les fondations⁵¹. Ces groupes, dont les résultats sont largement diffusés et enseignés⁵², ont une influence considérable. D'une part, ils contribuent à la rationalisation, et normalisation, des essais et appareils de mesure, en laboratoire et *in situ*, pour caractériser les sols, digues, talus, remblais, etc. D'autre part, après une décennie de recherches et de tâtonnements empiriques⁵³, ils entament une phase de publications à visée normative sur les différents thèmes. Le GET fournit des méthodologies d'étude et guides pour les ingénieurs et les services du Ministère de l'Équipement⁵⁴. Le GERSC publie des recommandations à l'usage des maîtres d'œuvre et des ingénieurs de laboratoire qui intégreront la norme officielle pour les terrassements autoroutiers et influenceront le rapport d'un groupe de travail de l'OCDE sur la construction de routes sur sols compressibles⁵⁵. Tous les documents prônent, sans surprise, d'accorder plus d'attention aux études géotechniques et à la reconnaissance des sols pour éviter des instabilités et des coûts supplémentaires. A la fin des années 1960, il est désormais acquis que les talus et les remblais doivent être autant étudiés que les ouvrages d'art.

49. S. Vallemont, « Mémoires », dans : L'aventure des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées, 28 novembre 2002, p. 59-60.

50. *PCM* (mai 1966).

51. "Groupe d'étude des essais de sol en place"; "Groupe d'étude de l'essai statique de fondations profondes"; "Groupe des terrassements" constitué en 1961 (*Annales ITBTP*, série TP, nov. 1963; *Bull. liaison*, juil.-août 1970).

52. En plus des formations continues : cours d'enseignement spécialisé de mécanique des sols et cours de formation continue sur les remblais sur sols compressible à l'ENPC (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1981, p. 46).

53. Lors d'une conférence d'avril 1964 à l'ITBTP, les orateurs s'accordent pour dire que les solutions restent très empiriques et le rôle du laboratoire encore marginal. L'expérience pratique des constatations de chantier a une valeur supérieure aux calculs théoriques (*Annales ITBTP*, série TP, nov. 1964).

54. Un fascicule de l'instruction technique de 1979 dédié aux déblais et remblais résume l'état des savoirs ainsi que les dispositions à prendre pour éviter ou réparer les ruptures de talus.

55. Voir : *Annales ITBTP* (juil.-août 1971); SETRA et LCPC, *Recommandation pour les terrassements routiers. Établissement des projets et conduite des travaux de terrassements*, 1976; OCDE, *Construction de routes sur sols compressibles*, Rapport du groupe de recherche routière CM1, Paris, décembre 1979.

3.2.2 Variations

Une focale serrée sur le secteur routier, et sur les années 1960-1970, aurait raté l'essentiel, puisqu'elle aurait abouti à présenter les instabilités autoroutières comme une nouveauté de la pratique spatiale du Fordisme. Les excursions dans les périodes qui précèdent 1945 démontrent à nouveau leur intérêt. Sans surprise, puisque les immenses terrassements sont anciens, et que chaque grande infrastructure, du fait de ses exigences géométriques, vient nécessairement déstabiliser un milieu, cet ensemble d'instabilités et d'inquiétudes ne fait que renouveler celui qui apparaît au XIXe siècle – en particulier sur les chantiers des voies ferrées⁵⁶. Si l'exigence que l'infrastructure toute entière (talus, tranchées, sols, remblais) soit stable semble inhérente à toute pratique spatiale, le sens de cette exigence change dans le temps car la dimension du bâti, de son emprise et de sa géométrie, change.

L'ennemi postmoderne – de l'argile à l'eau

Avant de déplier les instabilités propres à la pratique spatiale antérieure à 1945, nous souhaitons insister sur un aspect important (chap. 2) : les ingénieurs s'intéressent strictement aux causes non-humaines des instabilités. Jamais n'est évoquée l'hypothèse que c'est le choix de construire un ouvrage dans un milieu qui ne le supporte pas qui pourrait être l'origine de l'instabilité. Ainsi, les postmodernes les rejoignent sur le non-humain du point de vue des causalités – leur désaccord fondamental porte sur la possibilité de maîtriser cet actant particulier. La cause non-humaine⁵⁷, présentée comme “ennemi”, change toutefois : de l'argile, on passe à l'eau. Tout au long du XIXe, les ingénieurs évoquent des terrains “très sensibles aux influences atmosphériques”. Si certains sols (limoneux, vaseux et tourbeux) sont réputés pour leurs mauvaises qualités, la matière la plus fréquemment citée comme cause des instabilités de talus est l'argile⁵⁸. Le conseil général des manuels découle de l'analyse : “éviter le plus possible les tranchées en terrains argileux⁵⁹”. A la fin des années 1930, l'ennemi (sic) change

56. Le parallèle repose essentiellement sur le caractère systématique des glissements des talus. D'autres ruptures surviennent dans les années 1930 et 1950 (*L'Entreprise française*, mai 1935 ; *Annales ITBTP*, série SF, nov. 1952).

57. Au XIXe, alors que la stabilité est produite manuellement, les ingénieurs imputent les instabilités aux travailleurs et aux conditions de réalisation (exécution défectueuse, emploi de matériaux impropres, etc.).

58. Tous s'accordent pour affirmer que les instabilités se rattachent à la présence d'argile (ou de glaise). “La rupture d'équilibre des masses glaiseuses, telle est, à notre avis, la cause prépondérante des grands éboulements et des glissements à grandes distances qui sont si fréquemment la suite de l'ouverture des tranchées dans les coteaux en pente douce des terrains argileux.” (*Annales PC*, 1er sem. 1853). Ou : A. Collin, *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux*, Paris, Carilian-Gœury et Dalmont, 1846 ; “Les mouvements que peuvent prendre les terrassements en terrains argileux constituent une des parties les plus délicates de l'art de l'ingénieur” : Graëff, *op. cit.*, p. 45 ; “D'après toutes les enquêtes officielles auxquelles a donné lieu l'exploitation de chemin de fer français, les éboulements proviennent presque toujours de terres glaiseuses et argileuses rencontrées dans les travaux ; des masses considérables ont été quelques fois mises en mouvement par la présence d'une vaine glaiseuse d'un centimètre seulement d'épaisseur. De même, quelquefois, c'est le terrain naturel gras et argileux qui a cédé et glissé sous la charge des remblais” : Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 470 ; “L'argile, principalement quand elle est pure, est le grand ennemi de l'ingénieur, surtout dans les terrassements à flanc de coteau où l'exécution d'un déblai peut avoir pour conséquence l'éboulement du coteau entier” : Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 13 ; “Tous les accidents peuvent d'ailleurs être évités, si l'on a soin de n'employer en remblai que de bonne terre et de rejeter celle qui est argileuse” : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 303.

59. Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 13.

et devient l'eau⁶⁰. Les déplacements dus au travail de l'eau, outre qu'ils produisent parfois des glissements de terrain spectaculaires, sont la plupart du temps dommageables à long terme pour les bâtiments dont les fondations sont lentement mises en désordre. L'eau, au cœur des recherches du GET et du GERSC⁶¹, est une matière clé de la production d'espace.

Inquiétudes et solutions

Outre les questions de mouvements des terres, entraperçues au chapitre précédent, les descriptions des travaux de terrassement des grands chantiers du XIXe accordent une place centrale aux instabilités : éboulements, glissements, ruptures et tassements, sont déjà omniprésents. Si les chantiers des canaux⁶², digues en terre⁶³, y sont confrontés, les voies les plus familières des ruptures sont sans aucun doute les chemins de fer : tous les livres, traités, manuels, cours et articles insistent longuement sur cet aspect (aussi connu des ingénieurs étrangers⁶⁴). La structure générale pour rendre intelligible ces petites crises est la même que pour les autoroutes⁶⁵ : le point de départ tient aux exigences géométriques (draconiennes pour les pentes⁶⁶, plus lâches sur les rayons de courbure). De cette exigence découle le besoin de nouveaux ouvrages (remblais, viaducs, tunnels) pour franchir les "terrains sensibles".

60. La rupture est explicite au Congrès international de la route de La Haye (1938) : "Les difficultés à surmonter pour l'établissement des routes ne proviennent guère que de l'argile ou des terrains mous (marécageux, tourbeux) ; en terrain cohérent, la stabilité des talus doit retenir l'attention ; mais l'expérience acquise sur ces divers points est déjà fort grande, et l'on sait, par exemple, que l'ennemi le plus à craindre c'est l'eau, et qu'il convient toujours de la drainer et de l'évacuer avec soin." (*Le Génie Civil*, août 1938, p. 124). "On ne répétera jamais trop que l'eau est l'ennemi principal" explique le directeur du LCPC (*PCM*, mars 1966, p. 61). Reverdy commence ses 80 maximes de terrassements routiers par l'eau, l'élément le plus important de "par l'action qu'elle a sur les sols et plus spécialement sur leurs parties fines". Il précise que l'élément clé aurait pu être l'argile ou le limon, "mais il semble préférable de garder l'eau car c'est elle qui les rend mauvais" (*RGRA*, fév. 1968, p. 57). Ainsi, comme l'exprime un ingénieur rencontré par Meulemans, "l'eau est à la base de tout ce qui peut mal tourner" : Meulemans, « Fonder les villes », *op. cit.*, p. 153.

61. Voir : *Bull. liaison* (juil.-août 1965, spécial T, mai 1973) ; *Annales ITBTP* (série TP, juil.-août 1967) ; *RGRA* (fév. 1970).

62. Au Canal de l'Ourcq, les fondations les plus délicates et les plus coûteuses se rencontrent dans les terrains compressibles. Les ingénieurs s'efforcent de défendre les talus fragilisés par l'accroissement de la vitesse des bateaux et le développement de la navigation automotrice. Voir : *Le Ciment* (avr. 1936) ; Guillaume, « Techniques et matériaux de construction », *op. cit.* ; A. Guillaume, « Les fondations dans le génie civil en France, 1800-1830 », *Culture Technique* 26 (1992), p. 12-19.

63. Un barrage, construit pour l'alimentation en eau du Canal de l'Est, se rompt le 27 avril 1895, entraînant la mort d'environ 100 personnes. Un grande digue du barrage de Grosbois-en-Montagne, qui était constituée d'un remblai argileux, se rompt en 1920 à l'issue d'une vidange. Voir : *PCM* (fév. 1985, p. 36) ; Bordes, *op. cit.*

64. Toute la quatrième section du livre de Heyne, "Travaux pour la consolidation des terrassements et pour les préserver de toute détérioration causée par l'influence des éléments", est dédiée aux instabilités diverses. Les chapitres 14 à 17 s'intitulent respectivement : "influence de l'atmosphère et des eaux supérieures ou inférieures sur les terrassements" ; "consolidation des talus contre les influences funestes de l'atmosphère et des averses" ; "fondations" ; "glissements". Voir : Heyne, *op. cit.*

65. Le parallèle entre autoroutes et voies ferrées est fréquent. Reverdy met en évidence que les mêmes discussions, mêmes problèmes et moyens analogues, mêmes controverses sur les tracés, mêmes enquêtes et expropriations, se retrouvent à 120 ans d'écart (*RGRA*, jan. 1974).

66. Lors des premières voies de chemins de fer, comme les locomotives étaient peu puissantes, les conditions sur les rampes étaient très strictes. Aussi la recommandation pour la pente maximum est-elle de 0,5 % (et 1,2 % en montagne). Même lorsque des locomotives plus puissantes sont mises en place, les pentes atteignent 3,5 % (sur la ligne de Paris à Saint Germain en Laye), là où une autoroute exige 4 % (*RGRA*, jan. 1974).

Les inquiétudes sont, déjà, physico-financières : il faut d'autant plus éviter les glissements de talus, l'instabilité la plus fréquente, donc d'autant mieux en connaître les mécanismes, qu'il est très coûteux de les contenir, de les réparer et d'indemniser les habitants dont les constructions sont abîmées⁶⁷. Les premières recherches spécifiquement dédiées à la question sont celles d'Alexandre Collin, ingénieur du corps royal des Ponts et Chaussées, qui publie en 1846 un épais ouvrage dans lequel il décrit les glissements qu'il a observés lors du chantier du canal de Bourgogne et de la ligne de chemin de fer qui relie Paris à Saint-Germain-en-Laye⁶⁸. Les archives révèlent que les ingénieurs savent, dès le milieu du XIXe⁶⁹, que l'ouverture d'une tranchée dans un terrain meuble vient rompre les conditions d'équilibre et que des dégâts différenciés se manifestent à court et long terme. C'est un fait partagé, conforme au sens commun : "plus la hauteur d'un remblai est grande, plus on augmente les chances d'éboulements et de déformations⁷⁰". Tant pour les talus que les remblais sur sol compressible⁷¹, la surprise des chantiers autoroutiers tient donc davantage à l'ampleur des ruptures qu'à leur existence.

Quelques réflexions marquent en revanche des différences notables dans les pratiques spatiales. Il est, au XIXe siècle, fréquent de renoncer à creuser une tranchée du fait de talus qui menacent de s'ébouler, et il est envisageable d'abandonner le tracé initial lorsque l'instabilité des terres peut provoquer des accidents d'exploitation. La plupart des livres recommande simplement d'épouser le terrain et d'éviter des remblais sur des terrains vaseux⁷². Le cas de sols compressibles illustre encore mieux l'écart entre les époques. Comme l'enfoncement des remblais est vertical, et non pas latéral, cela ne compromet pas l'achèvement des travaux à moins "de se trouver sur des couches compressibles très épaisses et d'avoir à établir des remblais de très grande hauteur⁷³" – précisément ce que font les autoroutes. Les travaux routiers sont peu concernés : si Durand-Claye admet, dans son cours sur les routes à l'ENPC, qu'un remblai sur un sol compressible peut être problématique au point qu'il faille penser à une véritable fondation ("comme pour un ouvrage d'art⁷⁴"), il rappelle que ce cas de figure ne se

67. Voici les règles du Conseil d'État (1860) : "une compagnie de chemin de fer qui a négligé de consolider les talus d'une tranchée, doit indemniser un propriétaire de l'éboulement des terres riveraines qui en a été la conséquence, ainsi que de la dépréciation causée à l'immeuble par la crainte de nouveaux éboulements. De même le dommage résultant pour une propriété de ce que, par suite des dépôts de déblais d'un chemin de fer sur un terrain voisin de cette propriété, le sous-sol a subi une pression qui a déterminé dans le sol de cette propriété des glissements et des déformations est un dommage direct et matériel". Cité dans Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 470.

68. Collin, *op. cit.*

69. Le mémoire de Sazilly dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, "Stabilité et consolidation des talus" (1er sem. 1851) reçoit la médaille d'or (et un prix de 600 francs) en 1852. Il est cité par la grande majorité des ouvrages examinés ici. D'autres articles le discutent dans ces mêmes *Annales PC* (1er sem. 1853, 4ème série 1866, 4ème série 1868); Graëff, *op. cit.*; Bruère, *op. cit.*; A. Perdonnet, *Traité élémentaire des chemins de fer. Tome I*, 3ème édition, Paris, Garnier frères, 1865.

70. C. Etienne, A. Masson et D. Casalonga, *Nouveau manuel complet du terrassier et de l'entrepreneur de terrassements. Tome II*, Encyclopédie-Roret, Paris, L. Mulo, 1910, p. 105.

71. Un témoignage le rappelle : "On pourrait citer beaucoup de cas où, malgré tous les soins apportés à l'exécution des remblais, ceux-ci, dès qu'ils atteignent une certaine hauteur, rompent par leur poids l'équilibre grâce auquel le sous-sol se maintenait. Tel est le cas pour les remblais exécutés sur des terrains vaseux ou tourbeux." : Pontzen, *op. cit.*, p. 135.

72. Heyne, *op. cit.*; Frick et Canaud, *op. cit.*

73. Pontzen, *op. cit.*, p. 137-138.

74. "On y fait des enceintes de pieux et de palplanches, on y bat des pilotis, ou bien on étend sur le sol des lits de fascines destinés à répartir la pression sur une plus grande surface." : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 303.

présente “presque jamais dans la construction des routes, leur tracé pouvant presque toujours être détourné des terrains marécageux”. La circulaire de 1952 est, en ce sens, la dernière d’une époque⁷⁵ : elle suggère de “fixer judicieusement le profil en long en évitant le plus possible de faire reposer une chaussée sur un mauvais terrain”. Il existait donc un consensus sur le fait que certains terrains ne supporteraient pas les chantiers autoroutiers.

Si les calculs théoriques ne sont pas du même niveau de technicité, les préconisations pratiques apportées dans les deux cas, autoroutes et voies ferrées, sont très semblables : réduction et consolidation des pentes⁷⁶, techniques de drainage, gradins pour les talus élevés, murs de soutènement pour arrêter les mouvements de terre⁷⁷. Lorsque les remblais doivent être établis sur sols compressibles, des recommandations mécaniques sont également la norme au XIXe siècle⁷⁸. S’il n’est pas possible d’éviter un mauvais terrain, d’importants travaux sont nécessaires : par exemple déblayer tout le mauvais terrain et le remplacer par des terres meilleures. Comme le compactage artificiel systématique n’existe pas, il était courant d’attendre, avant de placer le ballast, que les remblais aient “saisonné” quelques années, c’est-à-dire qu’ils se tassent sous leur propre poids⁷⁹ – raison pour laquelle on surélevait le remblai au-dessus du niveau théorique d’une hauteur correspondant au tassement prévu⁸⁰. Pour stabiliser les grands remblais constitués de sable, matière qui devient incompressible lorsqu’elle est mouillée, les manuels recommandent d’arroser abondamment⁸¹ puis de pilonner les différentes couches⁸². Ainsi, dans les remblais à la brouette et au tombereau, le chantier est organisé de façon à faire passer les véhicules vides sur la masse même du remblai ; le piétinement et le poids des véhicules produisent une compression suffisante⁸³.

75. On trouve encore marginalement, au tout début du programme autoroutier, l’idée de modifier le tracé et d’éviter les zones instables (*Annales ITBTP*, série TP, juil.-août 1967, p. 1110).

76. Exemples : revêtement en terre végétale, ensemencement, gazonnement, pavage avec des briquettes de gazon, clayonnage. Voir : Etienne, Masson et Casalunga, *Tome II, op. cit.*, p. 97-103.

77. Graëff, *op. cit.* ; Evrard, *op. cit.* ; Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 427-433.

78. Outre l’assainissement, des surfaces de glissement, il est recommandé de lier le remblai au sol naturel, ou de l’établir sur une couche de sable ou de débris de rocher, ou bien le couper par des drains.

79. Dans le cas d’un remblai sur un terrain vaseux, “il faut se résigner à recharger le remblai à mesure qu’il s’enfonce jusqu’à ce qu’il ait fait coin dans la masse en pénétrant jusqu’au terrain stable.” Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 449.

80. Dès le chantier du canal de l’Ourcq, les remblais ont une hauteur d’un cinquième supérieure à la hauteur voulue, pour tenir compte du tassement naturel qui aura lieu : Barles, « La pédosphère urbaine », *op. cit.*

81. “Si l’eau en excès est le plus grand et presque le seul ennemi des ouvrages en terre, elle leur est bienfaisante lorsqu’elle ne fait que les traverser sans demeurer emprisonnée dans la masse ; c’est par elle que les remblais, abandonnés aux intempéries d’un hiver, se tassent et acquièrent de la consistance. Il peut donc y avoir avantage, lorsque la chose est possible, à arroser en grand les remblais au moment où on les forme, surtout lorsqu’il s’agit de digues dont on veut assurer l’étanchéité.” : A. Debaue, *Procédés et matériaux de construction. Tome deuxième : fondations*, t. 3ème partie, Paris, Dunod, 1885, p. 25.

82. “Le régalaige consiste donc à déposer le remblai par couches égales relativement minces, que l’on arrose et que l’on pilonne de façon à produire autant que possible leur tassement à l’avance, pour ne point avoir à le redouter plus tard. Il y a lieu de surveiller de très près les ouvriers chargés de ce travail qui n’a aucune valeur quand il n’est pas parfaitement exécuté.” Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.*, p. 420-421.

83. Si le wagon est apprécié car il permet des déplacements de terre importants, son passage sur un remblai procure une compression et un malaxage des terres beaucoup moindres que les animaux ou les brouettes.

3.2.3 Géo-savoirs et géo-techniques de la production d'espace

“Faut-il fonder un ouvrage sur pieux ou sur fondation superficielle? (...) Quelle pente doit-on donner à un talus de déblais de 20 ou 30 mètres de hauteur, et par quel soutènement au drainage pourra-t-on en améliorer la stabilité? Est-il possible de construire un remblai sur une épaisse couche de tourbe ou vase, ou doit-on, au contraire, faire passer la voie sur un viaduc? Il est bien rare que, dans l'étude d'un projet routier ou autoroutier important, plusieurs des questions précédentes ne se posent pas. Il est plus rare encore que des problèmes de Mécanique des Sols n'apparaissent pas lors de la construction de canaux, de barrages ou de murs de quai. Pratiquement, tout ouvrage de Génie Civil doit être construit sur un sol et il est essentiel de s'assurer que ce sol pourra supporter l'ouvrage⁸⁴.”

Ainsi, depuis au moins l'ère industrielle, du fait des exigences croissantes des infrastructures sur les milieux traversés, la pratique spatiale capitaliste, voulue et imposée par l'État, est profondément instable. Si cette instabilité n'a jamais arrêté définitivement le processus, c'est parce qu'elle a fait l'objet d'une attention toute particulière de la part des ingénieurs – dont proviennent les descriptions susmentionnées – qui bénéficient de soutiens importants. Ceux-ci sont contraints, à l'étape des tracés, de s'intéresser aux sols et aux milieux, à les étudier et à développer des théories sur leurs comportements. Comme, au-delà de propriétés idiosyncratiques, les difficultés sont similaires entre infrastructures de par le monde, les diagnostics et solutions vont être transférés entre chantiers et États. Au fil des décennies, en se spécialisant toujours davantage, les ingénieurs vont développer un ensemble grandissant de savoirs et de techniques afin de répondre aux difficultés concrètes qu'ils rencontrent sur les conditions d'implantation des ouvrages (et non les ouvrages eux-mêmes) : littéralement, des géo-savoirs et géo-techniques. Les instabilités seront alors jugées évitables à condition de procéder à toujours plus d'études, de sondages et de mesures, puisque, selon eux, la majorité des dégâts et accidents est due à une méconnaissance de la géologie des terrains⁸⁵. La causalité va dans les deux sens : l'instabilité crée des savoirs⁸⁶ ; des savoirs et techniques permettent aux nouvelles infrastructures de s'ancrer dans les sols⁸⁷. Quant aux ingénieurs, ces savoirs renforcent leur centralité dans la pratique spatiale.

L'autonomisation⁸⁸ d'un nouveau champ, la mécanique des sols, est l'aboutissement de ce long processus qui commence au tournant du XVIIIe siècle et qui connaît son point de

84. *PCM* (mars 1966, p. 73).

85. Une bonne étude géologique et hydrogéologique des terrains, et une bonne connaissance du sol au travers de sondages sont déjà préconisées par les manuels du XIXe.

86. La géotechnique bénéficie aussi des prospections, minière, hydrologique et pétrolière, qui fournissent les outils nécessaires aux relevés géologiques par sondage et carottage : Barles et al., *op. cit.*

87. Tous les grands progrès de la mécanique des sols et des études géotechniques du XIXe siècle sont liés aux grands travaux publics. Par exemple : la stabilité des pentes en terrains argileux et le drainage comme remède pour les voies ferrées ; la constatation que les tassements de longue durée des fondations et des remblais assis sur de l'argile sont dus à la consolidation de celle-ci (*RFdG*, 1981, p. 15).

88. Selon Pierre Bourdieu, l'autonomisation d'un domaine d'activité résulte généralement de la lutte menée par un groupe de spécialistes pour obtenir la reconnaissance sociale de leur autorité et de leur compétence sur le domaine en question, instaurant une coupure entre professionnels et profanes. Trois conditions requises pour qu'un champ relativement autonome se forme sont satisfaites pour la géotechnique : l'émergence d'un groupe de spécialistes de l'activité en question ; l'existence d'instances spécifiques ; la formation d'un marché. Voir : P. Bourdieu, « Le marché des biens symboliques », *L'année sociologique* 22 (1971), p. 49-126.

bifurcation dans l'entre-deux-guerres⁸⁹. Comme l'optimisation des mouvements de terre (avec les travaux de Vauban), la mécanique des sols, dont le signifiant n'apparaît que dans les années 1920, possède une origine militaire⁹⁰. Les deux “pères fondateurs⁹¹” des disciplines, sans cesse cités avec leurs ouvrages majeurs, sont Coulomb, pour la mécanique des sols, et Karl Terzaghi⁹², pour la géotechnique – réunion de la géomécanique (mécanique des sols et des roches), davantage théorique et modélisatrice, et de la géologie (et hydrogéologie), plus qualitative⁹³. Outre sa contribution scientifique, reconnue unanimement par ses pairs, ce dernier crée la *Société internationale de mécanique des sols et travaux de fondations* et préside dans la foulée le premier congrès international de mécanique des sols qui se tient à l'université de Harvard en 1936⁹⁴. Sans en être l'instigateur, il soutient et préface la naissance de la revue anglophone, au nom francophone, *Géotechnique* en 1948⁹⁵. En France aussi, les années 1930 représentent un moment de bascule du point de vue de l'autonomisation de la mécanique des sols et de la constitution de la seconde infrastructure – qui, pour une fois, est officiellement indépendante des Ponts et Chaussées. Celle-ci repose principalement sur l'*Institut Technique du BTP* (ITBTP, inauguré en décembre 1933⁹⁶), où une section d'études

89. Du XVIIIe à l'entre-deux-guerres, des ingénieurs cherchent à établir une théorie générale du comportement du sol vis-à-vis des constructions, avec comme espoir d'isoler des lois universelles permettant de constituer des bases rationnelles pour la construction des fondations. Voir : *RFdG* (1981) ; J. Boulaïne, *Matériaux pour une histoire de la science du sol*, Grignon, Institut National Agronomique, 1985 ; J. Boulaïne, « Histoire abrégée de la Science des Sols », *Étude et Gestion des Sols* 4.2 (1997), p. 141-151 ; Barles et al., *op. cit.* ; M. Chrimes, « Geotechnical publications before *Géotechnique* », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 343-355 ; J. B. Burland, « A brief history of the development of geotechnical engineering », dans : *ICE Manual of Geotechnical Engineering*, Institution of Civil Engineers, 2012.

90. Les officiers du Génie militaire sont notamment confrontés au problème de la poussée des terres sur les murs de fortification, et débattent de la compressibilité et la cohésion des sols, les argiles, la stabilité des revêtements et fondations : Guillerme, « Techniques et matériaux de construction », *op. cit.*

91. Des recherches contestent bien sûr ce piédestal pour mettre en avant d'autres figures moins connues, ou rabaisées par Terzaghi : J. T. Christian et G. B. Baecher, « D. W. Taylor and the Foundations of Modern Soil Mechanics », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 141.2 (2015), p. 02514001.

92. C. A. Coulomb, « Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture », *Mémoire Académie Royale Des Sciences* (1773), p. 342-382 ; K. Terzaghi, *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*, Leipzig - Vienna, Franz Deuticke, 1925 ; R. E. Goodman, *Karl Terzaghi : the engineer as artist*, Reston, Va, American Society of Civil Engineers, 1999.

93. “La géotechnique est destinée à regrouper les données les plus significatives des domaines de la mécanique des sols et de la géologie de l'ingénieur. Ces deux domaines sont si étroitement liés qu'il serait vain de demander quel est le plus important”. Terzaghi cité dans R. Sanéjouand, *La Cartographie géotechnique en France*, Association pour la recherche et le développement des méthodes et processus industriels, 1972, p. 10.

94. Les suivants sont organisés à Rotterdam (1948), Zurich (1953) et Londres (1957) – ce dernier congrès étant présidé par Terzaghi – et Paris (1961). Les titres des sessions du congrès de Zurich sont révélateurs du lien entre cette science et les travaux publics : “Recherches des laboratoires, amélioration des propriétés des sols” ; “Recherches et essais de sol en place, stabilisation des sols” ; “Fondations des constructions et des barrages” ; “Pieux et fondations sur pieux. Tassements de ce genre de fondations” ; “Routes, autostrades et aérodromes et leur fondations” ; “Pression des terres, murs de soutènement, tunnels et tranchées blindées” ; “Stabilité des talus et des digues en terre”. Signe de son importance, l'inflation notoire du nombre de participants et de communications à ces congrès (*Annales ITBTP*, série SF, oct. 1954, oct. 1958, oct. 1961).

95. S. F. Brown, « *Géotechnique* 1948–2008 : more than just a journal », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 315-326 ; J. B. Burland, « The founders of *Géotechnique* », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 327-341.

96. Créé par l'Office Général du Bâtiment et des Travaux Publics en vue d'y rassembler tous les organismes qui servent les industries de la construction en France. Deux organes sont créés dans cette perspective : le Centre d'Études Supérieures du BTP, qui a pour mission de former les cadres supérieurs et le personnel de

“sols et fondations” est créée dès 1934, et le “Laboratoire d’Étude du Sol” créé au sein des nouveaux “Laboratoires du BTP”⁹⁷. Les trois principales missions assignées à ce dernier, structure qui imite des laboratoires similaires créés par Terzaghi (tant à Vienne qu’au sein du *Bureau of Public Roads*, qui servira de modèle au LCPC), sont rattachées à des questions pratiques de stabilité⁹⁸.

Au sein des Ponts et Chaussées, les premiers appels au développement de la mécanique des sols et la géotechnique routière sont formulés dès les années 1940, influencés par la création de l’ITBTP, ainsi que des problèmes de fondations d’autres infrastructures⁹⁹. Raymond Peltier, alors sous-directeur et bientôt directeur du LCPC, publie de nombreux articles pour introduire ces disciplines en France¹⁰⁰, qui peuvent, dit-il, rendre de “très grands services à la technique routière¹⁰¹”. Le développement interne au champ, et les investissements consentis par l’État, aboutit à un ensemble important de savoirs utiles aux routes. Au début des années 1960, les progrès sont toutefois jugés insuffisants pour accompagner le programme autoroutier¹⁰². Celui-ci offre à cette lente accumulation de savoirs des chantiers importants, sur une grande diversité de sols, de profondeurs diverses¹⁰³, où s’appliquer et se perfectionner¹⁰⁴. C’est dans ce processus que s’inscrit la naissance des groupes spécialisés (GET, GRESC) dans la gestion des instabilités autoroutières (3.2.1) et, plus largement, le développement de la géotechnique routière, “étude des sols appliquées à la construction routière”. Une importante diffusion, y

direction des industries de la construction, et le Centre d’Information et de Documentation de l’Architecte (*L’Entreprise française*, déc. 1933). Les *Annales ITBTP* sont publiées à partir de janvier 1936.

97. Laboratoires inaugurés en juin 1935 en présence de Caquot et du président de la République (*L’Entreprise française*, nov. 1935). En 1936, le Bulletin du *Centre d’études et de recherches géotechniques*, de l’entreprise *Rodio*, commence à être diffusé.

98. Étant donné un sol sur lequel un constructeur doit élever un ouvrage, “quelles sont les dispositions à prendre pour assurer la stabilité de cet ouvrage ?” Les ouvrages en terre (digue, barrage) et les injections dans les terrains sont mentionnés : *Le Génie Civil* (sept. 1934, p. 260).

99. Essentiellement pour les barrages dans les colonies dans les années 1930. Après le désastre du barrage Malpasset (1959), l’intégration de la géologie dans toutes les études est obligatoire.

100. Les travaux de Terzaghi sont relativement peu connus et discutés jusqu’aux années 1940 en France. Il est cité dans quelques courts articles sur les sols routiers dans la *RGRA*, *L’Entreprise française* ou *Le Génie Civil*. Le premier livre francophone de géotechnique moderne est celui de Buisson, qui introduit les travaux de Terzaghi en France (*Travaux*, avr., mai, juil., août, nov., déc. 1934, fév. 1935), et traduit son premier ouvrage en français : K. Terzaghi, *Mécanique théorique des sols*, Paris, Dunod, 1951.

101. *RGRA* (oct. 1947) ; *Annales PC* (juil.-août 1950).

102. LCPC, *Rapport général d’activité. Année 1962*, *op. cit.*

103. Les études en plus grandes profondeurs exigées par les infrastructures mettent fin à l’extrapolation à partir de la constatation visuelle, qui est restée très longtemps valable.

104. Ce n’est pas un hasard si les journées de Mécanique des Sols de Rouen de mars 1964 sont consacrées aux “Remblais sur Sols Compressibles”, dont on a vu les difficultés plus haut. En 1966, le directeur du LCPC assigne à la géotechnique routière le rôle suivant : “donner une description aussi précise et exacte que possible de la nature et de l’état des sols rencontrés sur un tracé en vue de prévoir au mieux l’importance des terrassements et leur mode d’exécution.” Il est ainsi courant de lire dans les articles des études complètes sur les formations géologiques. Les versants naturels constitués de matériaux argileux sont particulièrement étudiés car ils sont affectés par divers désordres qui sont susceptibles de compliquer la construction d’infrastructures (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1975). Dans les années 1980, il existe trois divisions de Géotechnique au LCPC qui sont au centre de réseaux de spécialistes associés au ministère de l’Équipement, du Logement, de l’Aménagement du Territoire et des Transports. Parmi les domaines d’activité : fondations superficielles et fondations profondes ; ouvrages en terre armée ; remblais et ouvrages construits sur sols compressibles ; digues et barrages en terre ; stabilité des pentes ; amélioration des propriétés mécaniques des sols en place : LCPC, *Activités 1987 de la Division Géotechnique - Mécanique des Sols 1 (GMS1)*, Rapports des laboratoires, juillet 1988.

compris par une session de la formation continue en 1971¹⁰⁵, de la géotechnique routière, s’observe dans les années 1970¹⁰⁶. La reconnaissance préliminaire (géologique, hydrogéologique et géotechnique) devient essentielle pour les opérations de terrassements autoroutiers puisqu’elle doit également aider à l’exécution des déblais, leur réutilisation pour les remblais, le choix des zones d’emprunt et dépôt, les questions de compactage des divers sols selon leur teneur en eau¹⁰⁷. En France, l’autonomisation de ce champ est bien concomitante d’une nouvelle pratique spatiale¹⁰⁸.

Il va de soi que les géotechniciens – tout comme, chacun à sa façon, les géologues, minéralogistes, podologues ou écologues – ont une vision utilitariste des sols et que leurs savoirs sont orientés. Pour eux, le sol doit être caractérisé par son utilisation possible dans les travaux publics. Le fait que le géotechnicien transforme le sol en boîte noire, le *soil* en *ground* comme le dit joliment Meulemans, n’est pas un effet d’une pensée moderne, qui voudrait nous faire oublier que le sol n’est pas solide, mais une conséquence de l’instabilité inhérente à la production d’espace capitaliste. Cette accumulation inouïe de savoirs et techniques ne fait pourtant que retenir, pour un moment, les instabilités. Les faits présentés par les postmodernes – que le non-humain vient “jeter le trouble” dans les savoirs, que les lois générales s’appliquent mal à des configurations particulières, que les sols et milieux sont toujours instables et que persiste une incertitude radicale sur des ruptures – sont l’évidence même pour les géotechniciens depuis des décennies. Si le laboratoire prend davantage de place dans le choix des dispositifs de stabilisation, l’équation (ou le modèle abstrait) n’est jamais séparée de mesures empiriques. Le terrain concret n’est jamais négligé : au contraire, il est toujours premier¹⁰⁹. Tous les

105. *RGRA* (FC, jan. 1971)

106. Si la *RGRA* (FC, avr. 1971, p. 1) déplore que “la mécanique des sols, technique encore récente, très évolutive, n’est pas encore suffisamment introduite dans les études”, le mouvement de diffusion est en cours. Diverses recommandations pour la reconnaissance géologique et géotechnique des tracés d’autoroutes sont publiées au début des années 1970. Parmi les outils : des cartes géomorphologiques et géotechniques, définissant d’une manière continue les conditions de fondation pour prévenir les glissements de talus sur les autoroutes, déduites de cartes géologiques classiques. Le *Bull. liaison* affiche un certain soulagement en constatant que l’idée de dresser des cartes des zones exposées aux risques de mouvements du sol et du sous-sol “fait actuellement son chemin chez les aménageurs du territoire” (sic) (*Bull. liaison*, mars-avr. 1971, nov.-déc. 1972, nov.-déc. 1973, jan.-fév. 1975, jan.-fév. 1979; *RGRA*, déc. 1971). Comme pour d’autres problèmes évoqués dans cette thèse, de nombreux guides sur les instabilités diverses vont être publiés : SETRA et LCPC, *Recommandation pour les terrassements routiers*, op. cit.; SETRA et LCPC, *Terrassements routiers. Contrôle en continu du compactage*, Guide de chantier, 1982; SETRA et LCPC, *Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule I. Principes généraux*, Guide technique, 2000; SETRA et LCPC, *Étude et réalisation des remblais sur sols compressibles*, 2000.

107. Voir : *PCM* (mars 1966, p. 60); *Annales ITBTP* (série TP, jan. 1965); *RGRA* (mars 1972, p. 96-97).

108. Naissance du *Comité français de mécanique des sols* en 1948, présidé par Albert Caquot jusque 1965, premières “journées des fondations et de la mécanique des sols”, organisées en mai 1950. Dans les années 1970 : premier numéro spécial de *Chantiers de France* (juil.-août 1971) dédié aux fondations spéciales; en 1971, les journées nationales du Comité français de la mécanique des sols et des fondations, qui ont pour sujet “Le comportement des sols avant la rupture” (*Bull. liaison*, spécial, juin 1972); le premier symposium national sur le thème de “Sol et sous-sol et sécurité des constructions” organisé par le BRGM en 1973; premier cours de mécanique des sols à l’ENPC publié en 1976, création de la *Revue Française de Géotechnique* en juillet 1977 (avec au premier numéro, un article intitulé “Surveillance des glissements de terrain”).

109. De nombreux ingénieurs répètent à souhait que les savoirs théoriques sont insuffisants en citant le cas fréquent des ruptures de remblais construits sur sols mous qui se produisent alors que les valeurs du coefficient de sécurité, calculées à partir de mesures en place étaient satisfaisantes (supérieures à un). Dans l’article “la crise de confiance de la mécanique des sols” (*Le Génie civil*, 15 juillet 1958), l’auteur rappelle que les calculs

calculs de stabilité et de tassement ne sont effectués qu'après une étude exhaustive des sols de fondation, *via* des échantillons intacts extraits du sol par sondage ou des mesures en place. Autre preuve : Terzaghi ne cesse d'aller chercher la vérité dans l'expérience¹¹⁰, accorde son soutien à la revue *Géotechnique* à condition que la moitié des articles soient des observations *in situ*¹¹¹, critique sévèrement Albert Caquot pour être trop théorique¹¹², se moque de l'omniprésence des coefficients de sécurité¹¹³, etc. L'extrait suivant, alors qu'il préside la première conférence internationale de mécanique des sols, est éloquent :

“Unfortunately, soils are made by nature and not by man (...) As soon as we pass from steel and concrete to earth, the omnipotence of theory ceases to exist. (...) Its [natural soil] properties change from point to point while our knowledge of its properties are limited to those few spots at which the samples have been collected. (...) In soil mechanics the accuracy of computed results never exceeds that of a crude estimate, and the principal function of theory consists in teaching us what and how to observe in the field (...) Hence the centre of gravity of research has shifted from the study, and the laboratory, into the construction camp where it will remain¹¹⁴.”

Tous les ingénieurs reconnaissent (au moins implicitement) que le sol est vivant et toujours imprévisible, ni tout à fait solide ni tout à fait liquide : il gonfle, il est traversé par des eaux, il gèle et se tasse. Pour qu'il soit utile à la production d'espace, il faut l'identifier, l'améliorer, et le rendre prévisible. Cela passe par les liants hydrauliques et le ciment.

3.3 Stabiliser les sols et les fondations

“Le caractère le plus marquant d'un réseau routier moderne, vu d'avion, est le développement harmonieux du tracé qui semble se jouer des obstacles naturels. Cette facilité n'est qu'apparente et témoigne mal de la grande diversité des difficultés rencontrées tant dans les définitions que dans la réalisation d'une autoroute. Les normes géométriques imposées au tracé en plan et au profil longitudinal

des spécialistes ne suffisent pas à prendre des décisions : “nulle théorie, si parfaite qu'elle puisse paraître, ne saurait les dispenser de faire appel à l'expérience du passé et à des essais directs qui, seuls, peuvent représenter valablement la réalité. (...) Plusieurs de nos graves mécomptes actuels ont eu pour cause l'inexpérience de techniciens aux connaissances trop sommaires et uniquement livresques.” Il s'oppose à la mécanique des sols et des roches, qui réduit les matériaux à quelques paramètres (cohésion, perméabilité).

110. En 1957, Karl Terzaghi affirme que, “pour acquérir des compétences dans le domaine du terrassement, il faut véritablement vivre avec le sol. Il faut l'aimer et observer son comportement non seulement en laboratoire mais aussi sur le terrain, afin de se familiariser avec les multiples propriétés que ne peuvent prendre en compte les modèles ennuyeux”. Cité dans H. Cambefort, *Géotechnique de l'ingénieur et reconnaissance des sols*, 4ème édition, Paris, Eyrolles, 1971, p. VII.

111. S. F. Brown, « The Golder Archive : further insights into the birth of *Géotechnique* », *Géotechnique* 63.7 (2013), p. 573-583.

112. “all of Mr. Caquot's publications in the field of soil mechanics involve only theoretical refinements of procedures which have been worked out by others, and therefore they are used by very few, if any, engineers outside of the French speaking countries”, cité dans Goodman, *op. cit.*, p. 251.

113. Il présente ce coefficient comme un simple argument pour avoir la permission de construire : *ibid.*, p. 251-252.

114. *Ibid.*, p. 156.

imposent nécessairement le franchissement de zones délicates par des remblais ou des déblais très importants, par des grands ouvrages d'art ou des tunnels. Tous ces ouvrages requièrent l'intervention des spécialistes des sols et des roches. *La géologie de l'ingénieur, la mécanique des sols et la mécanique des roches ont au cours des dernières décennies connu dans tous les pays un développement très spectaculaire qui a permis de donner des solutions nouvelles aux différents problèmes géotechniques que pose la réalisation d'une infrastructure routière*¹¹⁵.”

De nouvelles inquiétudes, en particulier pour les pistes d'envol et routes, naissent dans la période de Grande Accélération. Aux stabilisations des reliefs viennent s'ajouter, avec des véhicules toujours plus lourds et insupportables à certains sols, de nouvelles exigences quant à la stabilité des fondations. Les fondations des routes sont alors, très majoritairement, constituées de matériaux pierreux sans liants hydrauliques. La plus connue, appelée “le hérisson”¹¹⁶, est une couche constituée de grosses pierres disposées à la main et calées par des éclats de pierre – la stabilité étant garantie par l'enchevêtrement d'éléments bien coincés. Ce procédé va disparaître et une nouvelle technique va se développer, avec des effets importants pour la pratique spatiale : la stabilisation des sols. Cette section présente sa genèse et son évolution – en suivant les contingences pour éviter tout fonctionnalisme. Si, comme de coutume, histoires internaliste et externaliste s'entremêlent, nous commençons par la présenter du point de vue technique, c'est-à-dire par les développements propres à la mécanique des sols naissante (3.3.1). Nous montrons ensuite, et comme pour accentuer l'importance des transferts entre infrastructures, comment le programme autoroutier des années 1960 bénéficie des recherches menées depuis les années 1930 dans les colonies. Il est remarquable que, en matière de mécanique des sols et de géotechnique routière, l'importation des techniques étatsuniennes en France métropolitaine, ait transité par les colonies françaises du Nord de l'Afrique¹¹⁷. C'est (aussi) des aérodromes militaires d'Algérie que proviennent les plateformes autoroutières (3.3.2). Celles-ci illustrent un intérêt de cette technique : l'industrialisation des chantiers (3.3.3). La dernière section met en évidence la diffusion, tous azimuts, de la stabilisation chimique : de nouvelles techniques et de nouvelles infrastructures sont peu à peu intégrées dans son champ d'applications depuis les années 1960 (3.3.4). Tout en restituant les raisons propres à chaque transfert ou transformation de la technique, cette section montre que sa diffusion, depuis les années 1930 jusqu'à aujourd'hui, n'avait rien d'évident, et que les bénéfices attendus de la seconde infrastructure ne sont pas mécaniques.

115. *RGRA* (mai 1976, p. 70, souligné dans le texte).

116. Elle remonterait à l'ingénieur Trésaguet (XVIII^e siècle), dont les idées précèdent celles de l'ingénieur anglais Mac-Adam. Sur le hérisson, dont le nom provient à sa représentation de travers, sur lequel sont disposées les pierres à macadam (reliées entre elles par un mortier), voir : H. Blerzy, « Études sur les travaux publics. Routes, chemins et tramways », *Revue des Deux Mondes* 27.3 (1878), p. 628-658.

117. L'historiographie a déjà souligné l'importance de l'Afrique du Nord comme laboratoire où sont expérimentées de nouvelles techniques routières : M. Dione et A. Guillerme, *Les travaux publics en Afrique du nord (1953-1963) : Économie et innovations*, Rapport de recherche pour le Plan Urbain du Ministère de l'Équipement, 1989 ; M. Dione, « Les enjeux des politiques et les techniques des travaux publics en Afrique du Nord 1939-1962. La politique des plans d'équipement et de modernisation. Contribution à l'histoire de la colonisation française en Afrique du Nord », Thèse de doctorat en histoire, Université de Paris 8, 1995 ; Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, *op. cit.* ; A. Berthonnet, « La formation d'une culture économique et technique en Algérie (1830-1962). L'exemple des grandes infrastructures de génie civil », *French Colonial History* 9.1 (2008), p. 37-63 ; Montealegre, *op. cit.*

3.3.1 Améliorer, c'est bétonner

“Using soil as an engineering medium requires the removal of biological properties, alteration of chemical properties and reduction/removal of the physical properties (e.g. bulk density, water entry rate, porosity and hydraulic conductivity) of a soil¹¹⁸.”

Comme nous l'avons évoqué, la rupture des années 1960 tient aux nouvelles géométries des autoroutes et, partant, aux nouveaux terrains affectés. Il n'est plus question d'éviter, comme au XIXe, les sols argileux (ou compressibles). Une nouvelle préoccupation, parmi d'autres, va émerger pour la mécanique des sols : comment traiter ces sols afin de les rendre utiles ? Comment “donner au sol la résistance qui lui manque¹¹⁹” ? La première réponse est mécanique, la seconde chimique. Dans les deux cas, il s'agit d'imiter la technique du béton¹²⁰.

Avant de modifier effectivement le sol, les ingénieurs le transforment en objet manipulable. La grande nouveauté des années 1920 et 1930 a consisté à réduire, pour partie, la description géologique, qualitative, à quelques paramètres qui fournissent les informations les plus importantes aux ingénieurs. Les plus connus sont débattus et améliorés pendant des décennies : Atterberg (sensibilité à l'eau¹²¹) ; CBR (portance du sol¹²²) ; Proctor (teneur en eau optimale¹²³). A partir de ces essais et de la granulométrie¹²⁴, une classification décide du type de sols qui peut être stabilisé¹²⁵, selon quelles transformations, et comment les paramètres vont évoluer¹²⁶. Les épaisseurs des couches des routes comme des pistes d'aéroport sont directement calculées à partir de ces indices géotechniques.

Signe qu'une dynamique interne se crée, les recherches sont effectuées en France métropolitaine à partir de la fin des années 1940, soit bien avant le programme autoroutier. Déjà l'idée d'indépendance du climat s'affirme : “Stabiliser un sol, c'est lui faire subir un ensemble d'opérations qui lui confèrent des propriétés routières indépendantes des variations des condi-

118. A. J. W. Biggs et K. M. Mahony, « Is soil science relevant to road infrastructure? », *ISCO 2004 - 13th International Soil Conservation Organisation Conference* 410 (2004).

119. Allégret, *op. cit.*

120. Quelques exemples étatsuniens et tunisiens (voir plus bas) sont mentionnés au Congrès International de la route de La Haye en 1938 où la stabilisation des sols est débattue pour la première fois dans ce type de congrès (*Le Génie Civil*, août 1938).

121. Les limites dites d'Atterberg jugent de la sensibilité à l'eau : la limite de liquidité donne la teneur en eau au-delà de laquelle le mélange devient fluide ; limite de plasticité celle en dessous de laquelle le sol s'émiette. L'indice de plasticité, qui résume souvent la sensibilité à l'eau, est la différence entre ces limites. Sa valeur est d'autant plus grande que le sol est argileux.

122. En mécanique des sols, la capacité portante (appelé aussi portance par abus de langage) se définit comme la résistance à la rupture sous charge verticale. En technique routière, la portance trouve son origine dans l'essai CBR (*California Bearing Ratio*), développé en 1929, et se définit comme l'aptitude du support d'une chaussée à résister aux contraintes et aux déformations appliquées par la circulation.

123. Teneur en eau pour laquelle on obtient un sol de la plus haute densité pour un compactage donné. La masse volumique sèche du sol augmente avec la teneur en eau jusqu'à un optimum, puis décroît avec l'augmentation de la teneur en eau. Cette valeur optimale conduit à des sols suffisamment denses.

124. Les classes granulométriques sont définies par des tamis qui trient les matériaux selon leur diamètre. Par ordre décroissant : cailloux ; graviers ; sables ; limons ; argiles.

125. Les rapports rattachent dès le début la nature du sol, et non l'exigence sociale, à un type de stabilisation (*Annales ITBTP*, série TP, jan. 1962).

126. Dans les discussions sur la création des LRPC, Peltier propose de leur attribuer des machines pour tester la granulométrie et des appareils pour les limites Atterberg, les essais Proctor et CBR : Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.*, p. 23-24.

tions atmosphériques¹²⁷” ; “stabiliser un sol, c’est le mettre en mesure de résister dans toute la mesure du possible aux charges qui doivent lui être imposées, ainsi qu’aux agents atmosphériques, eau, chaleur et gel¹²⁸”. La stabilisation mécanique consiste à choisir un sol, et éventuellement à lui adjoindre un matériau de carrière, à l’améliorer par criblage, concassage, dessablage, mélange, puis à le répandre en couche et à le compacter¹²⁹. Le compactage des sols, dont les principes fondamentaux ne sont exprimés explicitement par Proctor que dans les années 1930¹³⁰, à partir de chantiers sur des barrages en terre, est une application de la mécanique du sol qui répond déjà à des exigences sociales : accroître la résistance, améliorer le pouvoir portant, réduire la compressibilité, contrôler les changements de volumes, réduire la perméabilité et la sensibilité au gel¹³¹. Aussi la connaissance des principes fondamentaux du comportement des sols compactés est-elle indispensable pour prévoir et quantifier les effets d’un changement de la teneur en eau¹³². Selon Peltier, alors directeur de recherches et d’essais au LCPC, les règles de la stabilisation mécanique sont explicitées, en France, pendant la première moitié des années 1950¹³³.

Cette technique s’avère toutefois inappropriée dans le cas des sols “fins” ou argileux, pour lesquels la résistance acquise se perd. C’est pourquoi une autre option est débattue simultanément, qui consiste à ajouter des liants hydrauliques (dont le ciment) ou liants hydrocarbonés (dont le bitume) : on les nomme “sol-ciment” et “sol-bitume”. Les premières techniques de ce type, discutées dans les années 1940 et 1950, sont les sols “améliorés au ciment¹³⁴”. L’idée de cette “stabilisation dans la masse” est simple : incorporer du ciment au sol instable (une dose de 8 à 14 % est conseillée dans les premiers articles ; ce taux baisse ensuite), malaxer de façon la plus homogène possible, pour ensuite le compacter fortement afin d’améliorer sa portance. La quantité de ciment doit être suffisante pour transformer le sol initial plus ou moins plastique en matériau semi-rigide, mais un seuil maximal existe également¹³⁵. Le sens de l’amélioration a changé : de mécanique, elle est devenue chimique¹³⁶. A partir de 1967,

127. *RGRA* (mai 1950).

128. Boutet, professeur du cours de routes à l’ENPC (1942), cité dans Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970, op. cit.*, p. 16.

129. Le compactage d’un sol consiste à augmenter le poids volumique du sol. Cela permet d’améliorer la résistance et la capacité portante, de diminuer la déformabilité et de réduire la perméabilité ou le risque de tassement. Le compactage permet aussi de limiter les variations des volumes indésirables causés, par exemple, par l’action du gel, par le gonflement et par le retrait du sol, ou bien de prévenir la liquéfaction des sols. La diminution du volume ne se produit que par l’élimination des vides remplis d’air qui existent dans le sol à son état initial, sans modifier la teneur en eau du sol.

130. Le compactage mécanisé existe déjà au XIXe siècle, mais reste peu courant. Les rouleaux compresseurs à moteur diesel sont mis au point après la Première Guerre mondiale (*Travaux*, mai 1972 ; *RGRA*, mai 1976).

131. Voir : *RGRA* (jan. 1947) ; *Annales ITBTP* (série SF, avr.-mai 1952, déc. 1967, fév. 1975) ; *Routes et Carrières* (déc. 1966).

132. Voir : *PCM* (mars 1966) ; *Bull. liaison* (avr. 1970).

133. *RGRA* (nov. 1957).

134. Après un long débat sur la différence entre ces deux techniques, un consensus émerge pour dire qu’elle se situe dans la dose de ciment qu’on applique au mélange. Nous utilisons sol stabilisé au ciment dans la suite.

135. La dalle en sol-ciment doit se rompre avec une multitude de micro-fissures, pas par une cassure franche comme une dalle en béton. R. Croise, « Traitement des sols aux liants hydrauliques », *Revue Forestière Française* 5 (1964), p. 427-438.

136. Voir : *RGRA* (mai 1950, jan. 1956, juin 1956, jan. 1957, mai 1957, juil. 1957, mai 1961, nov. 1962) ; *Travaux* (LR, 1951) ; *Annales ITBTP* (série SF, mars 1952, sept. 1952 ; série TP, déc. 1958, jan. 1962) ; *Annales de la Voirie* (juin-juil. 1963).

le traitement à la chaux des sols fins, méthode connue dès les années 1950 mais très peu expérimentée, est développée pour des raisons similaires : assécher le sol, améliorer la capacité portante des plateformes¹³⁷. L'incorporation de la chaux dans le sol limoneux ou argileux humide produit une réaction chimique (appelée "floculation") qui engendre une modification immédiate des propriétés géotechniques. Un sol passe ainsi de manière quasi-instantanée d'un état plastique à un état solide et perd partiellement sa sensibilité à l'eau. A long terme, la résistance à la compression, la stabilité au gel et l'indice de portance sont améliorés¹³⁸. Au début des années 1970, le traitement "mixte" avec de la chaux et un autre liant hydraulique (ciment, cendre volante) est utilisé sur les chantiers¹³⁹ – il s'agit de réaliser un traitement préalable du sol à la chaux (2 à 4 %) avant de le stabiliser avec du ciment (6 à 8 %).



**société
chimique de la route**



Autoroute A7 - sortie Sud de LYON

- Routes et autoroutes • Aérodomes
- Voirie et réseaux divers
- Travaux hydrauliques : Revêtements de canaux et digues

LIANTS et PRODUITS SPECIAUX

- Emulsions acides (repandage et enrobage, stabilisation et imprégnation)
- Bitumes fluides
- Bopes
- Tapis minces en sable enrobé
- Coulis sable emulsion
- Binders de reprofilage et de renforcement
- Revêtements antikeroseuses

ACTIMUL, ACTIFIX, WICESOL, IMPREMAC, MICETARS, MICOSIL, V 51, MICASABLE, ACTISEAL, MICGRIF, MICKER

Siège social :
**2, AV. VELASQUEZ
PARIS 8^e**

Téléphone : 522 13 79
522.96 33



chaux vive
POUR STABILISATION DES SOLS



SOLVAY & C^{IE}
SALZMANN & CO
12, cours Albert-1^{er} - Paris 8^e - Tél. 296.88.11

FIGURE 3.6 – Publicités pour les entreprises du monde de la chimie en construction routière – SCR (PCM, 1970) et Solvay (RGRA, 1971).

A la suite des ingénieurs qui travaillent sur ces procédés, ce sol stabilisé peut être présenté comme un béton. Il faut se rappeler que le béton est simplement le mélange d'un grain aggloméré par un liant. Le béton le plus courant est le béton de ciment, mais le béton bitumineux (autre nom de l'asphalte) est aussi un béton (avec le bitume comme liant) et la terre est un béton avec l'argile comme liant. Les auteurs de l'époque établissent souvent un continuum entre : le béton de ciment, le sol-ciment et le sol amélioré au ciment, d'une part ;

137. Voir : *Annales ITBTP* (série SF, mars 1952) ; *Bull. liaison* (nov.-déc. 1967).

138. Le durcissement résulte de la réaction de la chaux avec la silice libre et alumine existant dans le sol brut. Cet effet est lent et se poursuit pendant un an (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1979). Pour les explications physico-chimiques, voir : L. Saussaye, « Traitement des sols aux liants hydrauliques : aspects géotechniques et physico-chimiques des perturbations de la solidification », Thèse de doctorat en chimie des matériaux, Université de Caen, 2012.

139. Voir : RGRA (jan. 1970) ; *Travaux* (LR, 1973, p. 42).

entre sol stabilisé et béton d'argile, d'autre part¹⁴⁰. Le passage de la méthode mécanique à la méthode chimique – qui est, en France, chronologique dans la pratique mais pas dans la théorie puisque les techniques sont étudiées conjointement – peut donc se lire comme une transition du béton d'argile au béton de ciment. De même, la technique de terre armée, qui associe directement de la terre à des armatures, utilisée à partir des années 1960, imite celle du béton armé. Les opérations, toutes rattachées à un champ lexical connoté positivement (“traiter”, “améliorer”, “corriger”, “stabiliser”), appliquées au sol, toujours associé à un champ lexical connoté négativement (“mauvais”, “sensible”), reviennent, en ce sens, en sa bétonisation.

3.3.2 Histoire coloniale et militaire des transferts

Les techniques de stabilisation présentées ci-dessus, mécanique ou chimique, ne peuvent se comprendre par la seule histoire internaliste. Elles sont très marquées par les programmes internationaux de construction routière et, surtout, par les chantiers coloniaux. Déplier l'histoire de ces transferts permet d'illustrer finement le rôle de la seconde infrastructure, et de saisir l'importance de trois aspects dans la diffusion de ces méthodes en France métropolitaine : affordances des terrains¹⁴¹, rôle des militaires et développement de bases aériennes. Schématiquement, ces techniques étatsuniennes, initialement pensées pour des pistes routières, sont rapidement réutilisées, pendant le conflit, pour les pistes d'envol des nouveaux aérodromes militaires d'Afrique du Nord, avant de servir aux aéroports civils et surtout aux bases aériennes de l'OTAN au début des années 1950. Derrière un ensemble de contingences apparentes, il y a donc alignement des intérêts qui va donner une centralité aux colonies du Maghreb. La géotechnique routière, dont on a évoqué le développement rapide en métropole, est aussi le fruit de ces transferts de savoirs puisque les pistes d'envol sont considérées, jusqu'à la fin des années 1940, comme des extrapolations des routes par les ingénieurs des Ponts et Chaussées (qui suggèrent de transposer les nouvelles techniques routières à ces pistes).

Affordances

Si dans les années 1950, les articles encensent, et appellent à imiter, la technique de stabilisation des sols présente en Angleterre, en particulier la technique de sol-ciment, l'importation de ces procédés se fait d'abord des États-Unis vers la Tunisie¹⁴². Les similitudes (socio-technique, historique et matérielle) entre ces régions sont propices à un tel transfert. La première raison est géo-climatique : les sols et le climat sont similaires en Californie et en

140. Le béton d'argile ne contient donc aucun liant chimique. Les analogies entre le compactage du sol et le béton sont réalisées par le directeur des laboratoires du BTP lui-même (*Annales ITBTP*, série SF, avr.-mai 1952). Pour lire d'autres témoignages : *Laboratoires du BTP* (juil. 1945); *Travaux* (avr. 1946, LR, 1951, p. 132); *Annales PC* (juil.-août 1950); *Annales ITBTP* (série SF, mars 1952, p. 283). Encore aujourd'hui, de nombreux ingénieurs intéressés par la terre comme matériau de construction la présente comme béton d'argile. La terre est faite de grains plus ou moins sphérique – dont l'argile qui est un liant. La célèbre association CRATerre utilise ce terme : V. Villain, « Sociologie du champ de la construction en terre crue en France (1970-2020) », Thèse de doctorat en science politique, Université Lyon II, 2020, p. 388.

141. D'après Pierre Charbonnier, il s'agit des “prises qu'offrent les caractéristiques de la terre à l'imagination politique et juridique” : P. Charbonnier, *Abondance et liberté. Une histoire environnementale des idées politiques*, Sciences humaines, Paris, La Découverte, 2020, p. 55.

142. Voir : *Annales ITBTP* (série TP, déc. 1955, déc. 1958, jan. 1962); *RGRA* (juin 1947, jan. 1956, mai 1957).

Afrique du Nord. *A fortiori*, les techniques métropolitaines ne peuvent y être appliquées faute de matériaux pierreux dans des régions entières. Une seconde raison est historique : ces deux pays disposent, relativement à la très grande densité de routes en France métropolitaine, d'un petit réseau routier et souhaitent construire rapidement de grands itinéraires¹⁴³ – ce que leur permet la stabilisation mécanique des sols en place (3.3.3). Insistons sur un point : nulle part intervient, à ce stade, la question de la stabilité de la fondation ; si le souhait existe de s'épargner de la technique du hérisson, c'est aussi et surtout parce qu'elle n'existe pas dans ces régions¹⁴⁴ et qu'il semble impossible de l'y transposer. Cette affordance, multidimensionnelle, explique que les techniques aient été facilement transposables d'un terrain l'autre.

Encore fallait-il que les deux univers se croisent et que les transferts atteignent la métropole. Un premier maillon de la chaîne est établi au début des années 1930¹⁴⁵ : les ingénieurs du service des Travaux Publics de Tunisie¹⁴⁶ prennent connaissance des routes stabilisées lors du Congrès de la Route de Washington (1932). Comme ils ne disposent pas du même matériel, malgré la forte hausse de leurs moyens financiers¹⁴⁷, ils les adoptent en les modifiant légèrement. Dans la foulée, des milliers de kilomètres de nouvelles routes tunisiennes sont construites en béton d'argile (ou "gravier-argile"). Le second maillon, qui relie métropole, où les ingénieurs ignorent majoritairement ces expériences, et colonies, est forgé quelques années après. Une première visite pour étudier ces méthodes coloniales de construction routière est organisée en 1937 par des ingénieurs du Laboratoire d'Étude du Sol¹⁴⁸.

Guerre

La Seconde Guerre mondiale produit une nouvelle rencontre entre ingénieurs coloniaux et étatsuniens. Avec le débarquement des armées alliées en Afrique du Nord, en 1942, les techniques vont être appliquées massivement, et améliorées grâce, à la construction de bases militaires. Les circonstances sont favorables. D'abord, les formateurs des bataillons du Génie de l'Air étatsunien trouvent en Afrique du Nord des ingénieurs français qui, comme nous venons de le rappeler, connaissaient la technique de stabilisation. Ensuite, les pistes stabilisées (par exemple celle de Tébessa à Gabès, longue de 280 km) sont plébiscitées car ce sont

143. En Tunisie, la longueur des routes aménagées passe de 5 400 à 8 000 km entre 1930 et 1941. La longueur de celles pourvues de revêtements s'élève à 3 900 km, presque toutes construites à partir de 1925 : Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit., p. 52.

144. C'est une remarque que font tous les ingénieurs lors de leurs visites aux États-Unis : le "hérisson" y est inconnu. Ils le soulignent lors de la conférence organisée les 24 et 25 juin 1946 par le Ministère des Travaux Publics et des Transports à l'École Polytechnique sur "l'état actuel de la technique routière aux États-Unis".

145. Comme en attestent les discussions sur les barrages ainsi que les présentations de mécanique des sols au Maroc et en Algérie aux "journées des fondations et de la mécanique des sols" de 1950, les connaissances et les études sur les fondations, glissements de terrains et éboulements de falaise sont déjà avancées dans les colonies d'Afrique du Nord (*Annales ITBTP*, sept.-oct. 1936 ; *Travaux*, juin 1948 ; *Annales PC*, 1948, p. 465).

146. Jusque 1937, au moins, la technique n'a pas été appliquée en Algérie et les essais se sont soldés par des échecs au Maroc (pour des raisons non précisées). Au Maroc des pistes améliorées, appelées "routes américaines", sont le fruit d'une technique analogue (*Annales ITBTP*, sept.-oct. 1937).

147. Les charges financières du réseau routier sont réparties entre l'État et l'Office des routes créé en 1923 ou 1925 (il disparaît en 1933). Sur les emprunts pour financer les grands travaux en Tunisie, voir : D. Bousselmi, « Les emprunts tunisiens et les investissements publics : 1920-1956 », Thèse de doctorat en économies et finances, Université de Bordeaux et Université de Tunis, 2016.

148. Ceux-ci la jugent intéressante pour les "pays neufs" mais inapplicables en métropole car les sections neuves à construire sont rares (*Annales ITBTP*, sept.-oct. 1937 ; *Laboratoires du BTP*, sept.-oct. 1937).

celles qui ont le mieux résisté aux convois militaires alliés en 1942-1943. A partir de cette culture technique partagée, et du fait de l'arrivée de matériel puissant, les procédés vont être facilement appliqués sur les nouvelles constructions. Le conflit lui-même sert de catalyseur¹⁴⁹ : en quelques mois, une centaine de terrains d'aviation sont construits¹⁵⁰, qui sont autant de chantiers où ces techniques sont testées¹⁵¹. Le Laboratoire des sols et fondations d'Alger, créé avec l'aide étatsunienne, est immédiatement sollicité pour épauler la construction de la piste en sol stabilisé de Rabat. Outre les engins de chantier, l'armée étatsunienne lègue à ce laboratoire des instruments de mesure pour l'analyse des sols – ils servent dès 1945 pour mesurer différents teneurs en eau de l'argile lors de l'extension de l'aéroport d'Alger.

Passeurs

Le transfert de géo-savoirs et géo-techniques vers la métropole repose grandement sur la seconde infrastructure que constituent les laboratoires. Le premier laboratoire de géotechnique de l'empire français, auquel est associé Terzaghi lui-même¹⁵², a d'ailleurs été créé en 1931 à Alger – donc avant le premier laboratoire de mécanique des sols de Paris. Il s'agit d'un laboratoire privé¹⁵³ qui effectue des essais pour divers barrages¹⁵⁴, dont certains sous les conseils de Terzaghi¹⁵⁵, et à l'aéroport d'Alger¹⁵⁶. Le premier laboratoire public des sols et des fondations est créé à Alger en 1942 (celui de Casablanca en 1946). Signe de leur renommée, des missions d'études, des visites de chantiers et des installations, sont organisées à la Libération en Tunisie et en Algérie pour les ingénieurs de métropole et d'autres territoires d'outre-mer. En 1950, cinq laboratoires du bâtiment et des travaux publics sont implantés dans les colonies¹⁵⁷ et les transferts sont à double sens : ainsi, la "division d'Algérie du LCPC", créée en 1955, a pour tâche principale d'adapter les techniques de métropole aux climats et aux matériaux locaux. D'autres transferts sont réalisés à la suite des indépendances. Ainsi, en 1962/1963 plusieurs agents de la division d'Algérie sont intégrés au LRPC de Bordeaux, apportant avec eux l'expérience des terrassements et des chaussées d'Afrique du Nord¹⁵⁸.

149. L'armée étatsunienne cherche aussi à stabiliser les plages pour éviter l'enlèvement des véhicules lors de débarquements (*Annales ITBTP*, série SF, sept. 1952).

150. On dénombre une cinquantaine de terrains d'aviation dans le seul département de Constantine et à peu près autant dans l'ensemble des départements d'Oran et d'Alger. A l'aéroport de Blida, construit en 4 mois, les Français sont chargés des travaux de fondation et de revêtement des pistes d'envol, des pistes de circulation et des aires de stationnement alors que les États-Uniens exécutent les terrassements. Toutes les aires sont traitées sans addition de liants chimiques, à l'aide de stabilisation mécanique ; la fondation en béton d'argile n'est pas toujours revêtue de bitume (*Annales ITBTP*, série SF, sept. 1950, p. 16-17).

151. Dione, *op. cit.* ; Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, *op. cit.* ; Guillaume, « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », *op. cit.*

152. Dans les années 1930, Terzaghi conseille de très nombreux chantiers à travers le monde, y compris dans l'Allemagne nazie où il collabore avec Todt et s'enthousiasme pour Hitler : Goodman, *op. cit.*, p. 149-159.

153. De l'entreprise *SEC* – devenue *Solétanche*, un nom qui a le mérite de la clarté, en 1946.

154. Quelques échantillons des barrages sont envoyés au laboratoire parisien (*Annales ITBTP*, sept.-oct. 1936).

155. Les barrages algériens sont longuement discutés dans les *Annales ITBTP* (sept.-oct. 1936). Voir aussi : Goodman, *op. cit.* ; Bordes, *op. cit.*, p. 91.

156. *Travaux* (jan. 1957).

157. A Alger, Bone, Casablanca, Dakar et Saïgon. En métropole : Paris, Amiens, Bordeaux, Caen, Dijon, Lorient, Mézières, Orléans, Rennes, Rouen, Saint-Lo.

158. Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.*

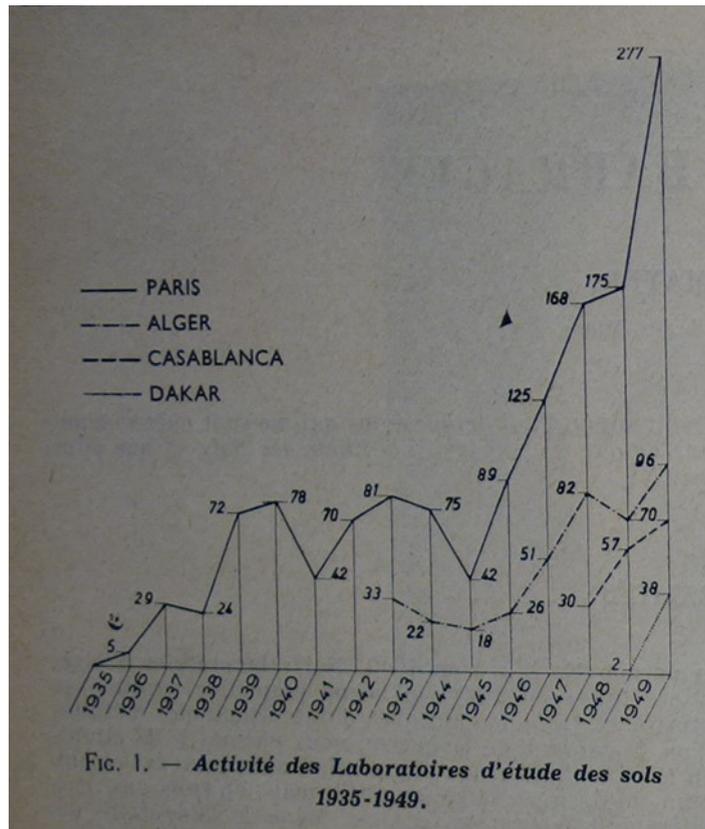


FIGURE 3.7 – Activité des laboratoires d'étude des sols : en 1949, 204 études sont menées dans des laboratoires coloniaux, contre 277 à Paris¹⁶⁰.

Au sein de ces laboratoires, quelques acteurs vont spécifiquement soutenir les transferts. Dans un des premiers articles sur la géotechnique routière des *Annales des Ponts et Chaussées*¹⁶¹, Raymond Peltier, qui vient de créer un laboratoire de géotechnique aux modestes moyens¹⁶², auteur d'une part importante des articles des années 1950 cités ici, recommande de s'inspirer des recherches et des chantiers réalisés dans les colonies, et en particulier celles menées par deux ingénieurs, Pierre Brunache¹⁶³ et Jean-Louis Bonnenfant, qui ont supervisé le chantier routier de Tébessa à Gabès dans les années 1930¹⁶⁴. Le premier, alors directeur de l'Office des Routes de Tunisie, a importé ces méthodes des États-Unis¹⁶⁵. Il sera recruté par la *Société Routière Colas* en 1953 où il crée un laboratoire de recherche. C'est surtout Bonnenfant, nommé Directeur des Travaux Publics de Tunisie à la Libération, qui va porter les transferts. Celui-ci incarne la rencontre entre ce chapitre et le précédent, et les liens entre in-

160. *Annales ITBTP* (série SF, sept. 1950, p. 4).

161. *Annales PC* (juil.-août 1950).

162. C'est l'inspecteur général des Ponts et Chaussées qui l'introduit dans une conférence de 1958 en rappelant ce fait : "J'ai le plaisir de rappeler que M. Peltier est avec moi depuis douze ans; je l'ai eu comme adjoint à ses débuts au Laboratoire; il a, à cette époque, organisé dans un temps record un laboratoire de géotechnique, avec des moyens qui étaient alors maigres puisque nous n'étions qu'une vingtaine de personnes au total, et nous n'étions que les deux seuls ingénieurs; nos crédits étaient très limités."

163. Guillerme confond Brunache et Bonnenfant puisqu'il affirme que c'est le premier qui était directeur des travaux publics en Tunisie, puis des bases aériennes en France.

164. Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit.

165. *RGRA* (déc. 1950); *Annales ITBTP* (série SF, sept. 1950).

frastructures, puisqu'il visite le chantier de Donzère, lors d'un colloque sur la route à Avignon, quelques jours avant l'inauguration par le président Auriol. Ses nombreuses publications, en particulier dans les *Annales des Ponts et Chaussées*¹⁶⁶, qui traitent de cette technique mais aussi de l'équipement routier dans les territoires d'outre-mer¹⁶⁷, sont particulièrement remarquées et commentées par les ingénieurs¹⁶⁸. Il est omniprésent dans les colloques ("Journées techniques" ou "Semaine technique") de la route¹⁶⁹ et assure le cours des routes à l'École Spéciale des Travaux Publics au début des années 1950. Ses idées vont spécifiquement intéresser les aérodromes où il jouera un rôle prépondérant : chargé de l'Inspection Générale des Bases Aériennes en Afrique du Nord, nommé ingénieur en chef (1950), puis Directeur (1952), des bases aériennes¹⁷⁰. Les rétributions symboliques seront à la hauteur de son engagement : promu Chevalier de la Légion d'Honneur en 1947, il est nommé Ingénieur en Chef (en 1949) puis Inspecteur Général (en 1956) des Ponts et Chaussées¹⁷¹.

Aérodromes

En métropole, ce sont les aérodromes, et non les routes, qui vont d'abord appliquer les techniques de stabilisation des sols¹⁷². A partir de 1944, les divers plans, civil et militaire¹⁷³, de construction et reconstruction de pistes d'envol fournissent aux laboratoires des Ponts et Chaussées, qui ont aussi pour mission d'aider aux travaux de construction et d'entretien des pistes d'aérodromes, une opportunité pour approfondir les recherches et les connaissances. La méthode de stabilisation reçoit un écho important lors des chantiers des pistes d'envol prévus par le plan d'équipement aéronautique de 1946 (Orly¹⁷⁴, Montpellier¹⁷⁵, Limoges, Marignane), et surtout au début des années 1950 avec la construction des 13 bases aériennes de l'OTAN¹⁷⁶.

166. Voir : *Annales PC* (numéro VI, 1944, numéros I-IV, 1945). Et : *RGRA* (juin 1948), *Travaux* (avr. 1946; LR, 1951, juil. 1955).

167. Il se rend à plusieurs reprises dans les colonies d'Afrique sub-sahariennes et publie des rapports de mission pour le Bureau central d'études pour les équipements d'Outre-Mer.

168. *RGRA* (juil. 1950); *Travaux* (mars 1959, p. 147).

169. De Alger (avril 1948), Lyon (décembre 1949 et mai 1950), Rennes (avril 1952), Avignon-Marseille (octobre 1952); "Journées techniques de la route en AOF" à Dakar (avril 1952); "Journées des fondations et de la mécanique des sols" à Paris en mars 1950 (*RGRA*, avr. 1950, juil. 1950, juil. 1952, déc. 1952; *Annales ITBTP*, sept. 1950); Congrès mondial de la Route à Lisbonne en 1951 (*Travaux*, déc. 1951).

170. *PCM* (jan. 1957); *Travaux* (mars 1959).

171. Sa mort soudaine, en décembre 1956, est commentée dans *PCM* (jan. 1957) et *Travaux* (fév. 1957).

172. Quelques chaussées en béton d'argile sont également réalisées en France (*RGRA*, jan. 1947, juil. 1950; *Travaux*, LR, 1951). Un ingénieur qui l'applique dans le Gers affirme que cette technique utilise des règles traditionnelles connues des paysans gascons (*RGRA*, déc. 2000, p. 24).

173. R. Espérou, « Les aérodromes français des origines à 1975 », *Revue du comité d'histoire du ministère*, "pour mémoire" 9 (2010), p. 7-45.

174. L'influence coloniale est flagrante sur le chantier de la piste d'Orly (1946-1947) sur lequel opère l'entreprise *Viasphalte* qui a bénéficié des nouveautés étatsuniennes en Algérie (*Annales ITBTP*, série SF, sept. 1950). L'entreprise opère en Algérie puis en Corse (1943) et enfin en métropole où elle profite des marchés des aérodromes de l'OTAN. Elle réalise quelques expérimentations en Saône-et-Loire à partir de 1947 (*RGRA*, juil. 1950, p. 39). Ce cas est prototypique des transferts de technologies entre les trois continents : Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit.

175. La construction en béton d'argile de la piste d'envol de l'aéroport de Montpellier-Fréjorgues suit explicitement les recommandations de Bonenfant (*RGRA*, avr. 1948).

176. Sur ces bases : Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit.; M. Conia, « Les bases américaines sur le territoire français. Une illustration de la Guerre froide », dans : *La Guerre froide*

La Direction des Bases Aériennes va créer diverses commissions techniques pour étudier, et produire une réglementation, sur les chaussées en béton de ciment et leurs fondations. Ici se joue le moment crucial de cette histoire : la mise à l'écart de la stabilisation mécanique d'une seule couche, au profit de la solution chimique, du fait de la forte hausse du trafic et du poids des avions¹⁷⁷. Les ingénieurs l'avaient déjà constaté dans les colonies : les techniques traditionnelles, les pistes souples fondées sur hérisson et les pistes rigides de faible épaisseur, pourtant satisfaisantes au début de la Seconde Guerre mondiale, ne supportent plus les charges rapidement croissantes des avions. C'est donc à cet instant des transferts que la question de la stabilité de la fondation de l'infrastructure s'impose. Les ingénieurs s'avouent "souvent dépassés par les progrès très rapides et plus ou moins imprévisibles de l'aviation¹⁷⁸". D'un congrès de mécanique des sols (1948) à l'autre (1953), l'inquiétude croît sensiblement chez les géotechniciens : non seulement le trafic des aérodromes a plus que doublé, ce qui induit de nouvelles questions théoriques sur l'effet de la répétition des charges sur une chaussée et sa fondation, mais le poids des avions commerciaux à hélices a également doublé en cinq ans (jusqu'à atteindre 65 tonnes). Alors que les pistes sont prévues pour des avions de 10 tonnes, comment faire atterrir, à moyen terme, des engins de 100 à 130 tonnes¹⁷⁹ ? En particulier, quelles fondations vont garantir une meilleure force portante, et comment les charges vont être réparties dans les sols sous-jacents ? La solution va consister à augmenter l'épaisseur totale et à appliquer plusieurs sous-couches, différemment traitées, et, le plus souvent, à choisir une couche en béton de ciment comme couche de roulement. Les ingénieurs vont, peu à peu, cesser de percevoir les pistes d'envol comme des chaussées routières : tant que la roue de camion et celle de l'avion supporte un poids semblable, soit 6,5 t (13 t pour l'essieu selon la norme française), les calculs pouvaient être aisément transposés¹⁸⁰ ; ceci n'est plus possible dans les années 1950¹⁸¹. Deux ingénieurs des Ponts et Chaussées qui travaillent pour le service des Bases Aériennes reconnaissent : "L'engin volant a fait davantage progresser la technique routière, en vingt ans, que les engins terrestres, en vingt siècles¹⁸²". Les chantiers des aérodromes, y compris de l'OTAN, constituent donc une période charnière de la profession routière et de toute la pratique spatiale. Plus que l'ampleur des réalisations et les délais très serrés à respecter strictement, c'est l'utilisation de nouveaux matériels et les techniques retenues qui ont révolutionné l'approche générale des chantiers¹⁸³.

vue d'en bas, sous la dir. de P. Buton, O. Büttner et M. Hastings, Paris, CNRS Editions, 2014, p. 151-166 ; P. Labrude, P.-A. Antoine et F. Loubette, « Damblain, une base aérienne construite dans l'urgence en vue d'une guerre qui n'a pas eu lieu... », *Actes des 19^e Journées d'études vosgiennes* (2018), p. 93-510.

177. Pendant la guerre, le poids des avions commerciaux à hélices double de 10 à 25 tonnes. Il double à nouveau entre 1946 et 1953 (*Travaux*, mars 1959, p. 103). Aujourd'hui un gros avion pèse 250 tonnes.

178. *Annales ITBTP* (série SF, oct. 1954, p. 996).

179. Voir : *RGRA* (déc. 1946, jan. 1947, p. 17-18, mai 1950) ; *Travaux* (LR, 1951, mars 1959).

180. *RGRA* (juin 1948).

181. L'écart entre la pression des pneumatiques grandit également : ceux des véhicules routiers n'excèdent pas 6 à 7 kg/cm² alors que celle des avions militaires atteint 15 à 20 kg/cm² (*Travaux*, mars 1959, p. 153). Après la guerre, les paramètres des normes sont rapidement caduques puisqu'ils sont calibrés pour : 100 véhicules commerciaux (8,2 t par essieu) par jour pour une route avec chaussée recouverte de bitume ; une charge par roue de 6,8 tonnes pour les aérodromes (*RGRA*, mai 1950, p. 52).

182. *Travaux* (mars 1959, p. 144).

183. Un ingénieur témoigne : "Il s'est trouvé qu'au moment où nous avions à repenser nos problèmes routiers, beaucoup d'entre nous découvraient un matériel extraordinaire dont nous n'avions presque pas idée avant 1939 et que nous avons vu d'abord en action dans l'armée américaine puis au cours de missions d'études aux États-

3.3.3 Industrialiser les chantiers (la fin des hérissons)

Nonobstant les nouvelles connaissances sur les modifications à apporter pour les sols m ropolitains¹⁸⁴, les applications de stabilisation chimique, technique considérée alors comme aboutie, stagnent dans les années 1950. C’est en particulier le cas pour les routes, puisqu’aucun programme important de constructions nouvelles n’est entamé. La stabilisation au ciment est donc théoriquement connue en 1945 au sein de la seconde infrastructure, mais tant inenvisag e – il n’est pas question de construire de nouvelles routes importantes – qu’invisageable – du fait du manque d’engins et surtout de la rareté et chert  du ciment et du charbon¹⁸⁵. Jusque dans les années 1950, la stabilisation mécanique du sol avec un tapis superficiel hydrocarboné s’ajoute ponctuellement, sans les remplacer¹⁸⁶, aux anciennes techniques. La stabilisation chimique, elle, ne se banalise qu’avec le programme autoroutier. Outre que les autoroutes prévoient un important trafic lourd, ce sont les conditions de la production d’espace qui sont favorables à son déploiement : cadences importantes, traversée de “mauvais sols” (en particulier dans les régions Nord et Est), disponibilité de puissantes machines de terrassement. Le savoir-faire acquis et accumulé par les entreprises françaises dans les colonies, puis sur les chantiers a oportuaires, va explicitement leur servir¹⁸⁷. En 1963, une circulaire du ministère de l’Intérieur présente pour la première fois, de manière officielle dans la nomenclature, la stabilisation chimique des sols. C’est toute la technique routière qui est bouleversée : toutes les méthodes traditionnelles à base d’empierrement et de blocage, dont le hérisson, sont définitivement abandonnées (figure 3.8). Le procédé qui soutend la stabilisation va dominer toute la construction routière, bien au-delà des fondations. Les routes, comme Peltier l’avait pr dit¹⁸⁸, seront désormais conçues comme un empilement de couches stabilisées aux liants, à la consistance homogène, de rigidité et de frottement interne croissant du bas vers le haut, et qui adh rent les unes aux autres¹⁸⁹ (figure 3.9).

Unis (...) Il est certain que les énormes possibilités offertes par ces nouveaux matériels capables de r cler, de ramasser, de niveler, de mélanger, de compacter des matériaux avec des rendements inconnus jusqu’alors, ces possibilités, dis-je, ont déjà fait considérablement évoluer la technique routière et la transformeront encore dans les années à venir” (*RGRA*, juil. 1950, p. 39).

184. *RGRA* (juil. 1950, p. 41-42).

185. Il faut, à cette époque, 300 kg de charbon pour produire une tonne de ciment – ce chiffre baisse à 100 kg à la fin des années 1970. Sur le manque d’engins : *RGRA* (juil. 1950, p. 43).

186. Ceci vaut lors de la préparation de la plateforme de l’Autoroute de l’Ouest à la sortie de Paris en 1949 : comme le sol contient du limon argileux, une opération de drainage en cailloux et mâchefers est suivie de l’ajout d’une fine sous-couche de fondation au moyen de déchets de carrières calcaires s’agglomérant bien sous le passage d’un cylindre (*Travaux*, août 1950). Ainsi la circulaire ministérielle de 1952 introduit la stabilisation mécanique pour réaliser les couches de fondation, tout en maintenant la possibilité de la technique du blocage.

187. Voir : *RGRA* (mai 1976, déc. 2000, p. 24-31) ; Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit.

188. Voir : *Annales ITBTP* (série TP, déc. 1953, p. 1353) ; *Travaux* (mars 1959).

189. La couche de surface, la plus importante, maintient l’intégrité de la structure et protège les autres couches des infiltrations d’eau par son étanchéité. Elle est constituée d’une couche de roulement sur laquelle s’exercent directement les agressions du trafic et du climat, et d’une couche de liaison permettant l’accrochage aux couches de fondation et de base. Celles-ci apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic et repartissent les pressions sur les supports.

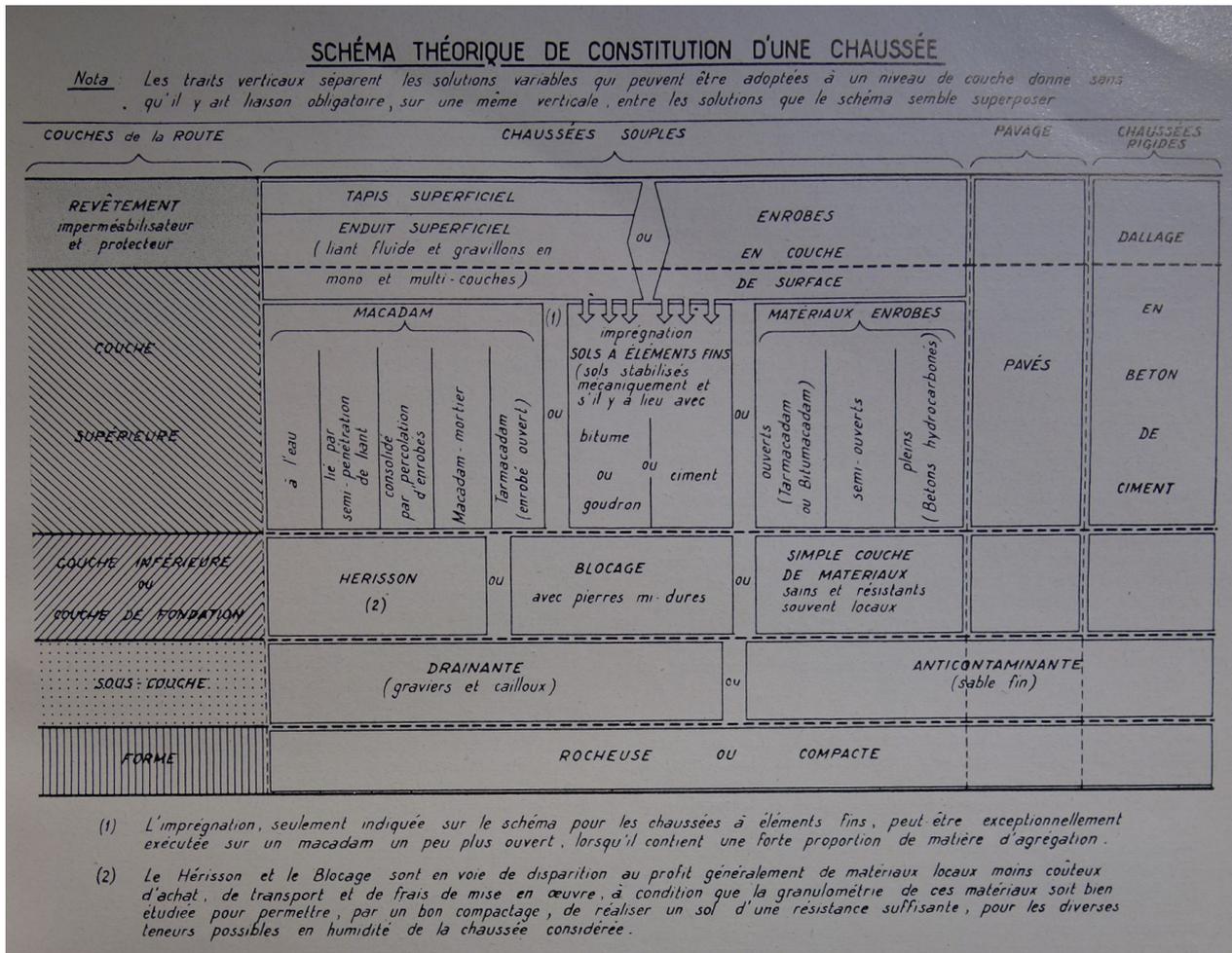


FIGURE 3.8 – Les liants ne figurent pas dans les couche inférieures au milieu des années 1950¹⁹⁰.

190. RGRA (juil. 1957, p. 79).

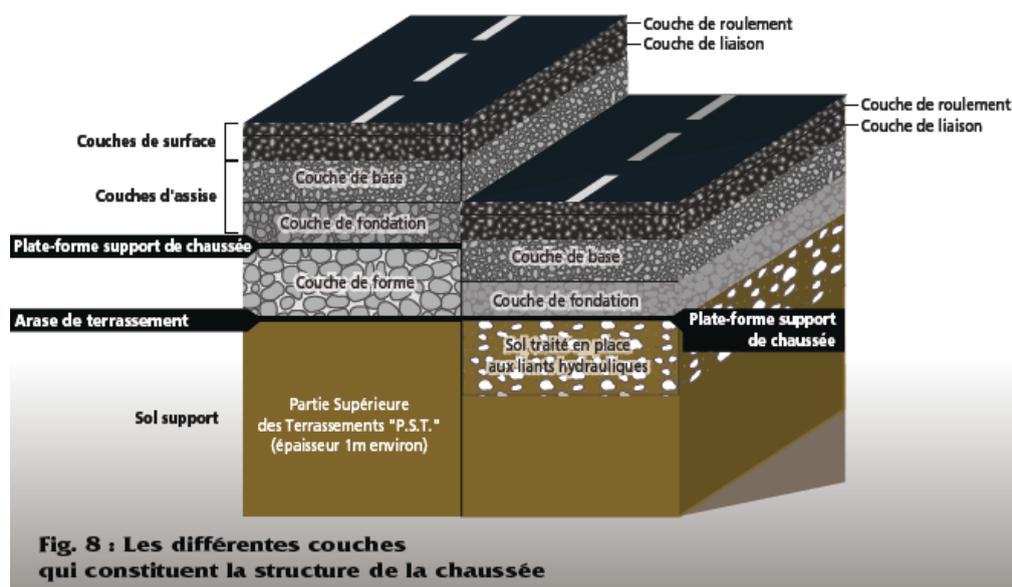


FIGURE 3.9 – Schéma des diverses chaussées aujourd’hui¹⁹¹.

Résistance mise à part, les ingénieurs reconnaissent que la qualité de l’ouvrage n’est pas la raison de l’engouement pour la stabilisation des sols puisque la technique du hériçon constitue, le plus souvent, une très bonne couche de fondation des routes¹⁹². Seulement, un hériçon doit être réalisé à la main, alors que, mécanique ou chimique, la technique de stabilisation des sols est, dès ses débuts, caractérisée par la mécanisation¹⁹³. Tous les premiers essais routiers mentionnent cette différence¹⁹⁴. Synonyme de mécanisation des chantiers, et de baisse de la main d’œuvre, ce qui n’est pas toujours équivalent (voir le chapitre précédent), le béton d’argile a dès le début été plébiscité, et encouragé. Les machines associées, malaxeur et compacteur, réduisent le coût et la durée des travaux, permettent de réaliser des chaussées plus épaisses et plus résistantes, et d’améliorer la qualité et la régularité des couches supérieures¹⁹⁵.

Ainsi, la stabilisation chimique, qui prolonge le mouvement en rajoutant des engins (pour épandre, malaxer, pulvériser les liants chimiques), est une méthode qui répond à l’exigence de production industrielle d’autoroutes. La “couche de forme”, couche toujours stabilisée qui vient s’intercaler entre la plateforme supérieure de terrassement et la chaussée à construire (figure 3.9), a explicitement pour objectif, à court terme, de protéger la plateforme de terrassement des intempéries et du gel, et d’assurer la circulation des lourds engins de terrassement

191. CIMbéton, *Tome1 : Conception et dimensionnement*, Voiries et aménagements urbains en béton T50, 2019, p. 23.

192. On la trouve encore, une dernière fois, à Alger en 1941 : la bande d’envol de l’aérodrome est faite d’un hériçon en moellons qui sert de fondation à un macadam revêtu de bitume : Guillaume, « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », *op. cit.*, p. 6.

193. Peltier : “alors qu’un hériçon est obligatoirement posé à la main, la confection d’un béton d’argile ou l’amélioration d’un sol naturel peuvent et doivent être entièrement effectuées à la machine” (*Annales PC*, juil.-août 1950). Voir : *RGRA* (juil. 1950); *Le Moniteur* (avr. 1953, p. 99-106).

194. En conclusion de l’essai dans le Gers en 1947, un ingénieur écrit que cette méthode permet une économie de matériaux d’empierrement, de moyens de transport, de main-d’œuvre et de temps du fait de la suppression des opérations de blocage jugées “longues et onéreuses” (*RGRA*, jan. 1947, p. 7).

195. Voir : *Annales PC* (juil.-août 1950); *Annales ITBTP* (série TP, déc. 1958).

sur le chantier – des facteurs essentiels dans la hausse des cadences de production. Outre qu'elle autorise l'autoroute à traverser tous les types de sols, et qu'elle apporte une portance à long terme, la stabilisation chimique permet l'industrialisation en désaisonnant partiellement la sphère de la production¹⁹⁶. D'un côté, la technique de stabilisation des sols ne peut être réalisée qu'à la machine. De l'autre, les grands travaux d'aménagement doivent être réalisés de façon industrielle, donc avec des machines à haut rendement¹⁹⁷. Or, seules les couches de formes traitées à la chaux et ciment permettent, en toutes circonstances, le passage de tels engins de chantiers¹⁹⁸. La recherche d'une meilleure productivité du chantier et d'une réduction du prix de revient entraîne une mécanisation, donc les techniques de stabilisation.

Pour favoriser cette industrialisation, une très forte rationalisation et normalisation des savoirs et techniques se développe. Celle-ci se traduit dès l'étude géotechnique qui est, schématiquement, séparée en deux volets : identification, par des paramètres, des sols à traiter (ou caractériser leur aptitude au traitement) et détermination des quantités de produit à introduire dans le sol. Avec les chantiers autoroutiers, la géotechnique va contribuer à une standardisation des solutions de stabilisation¹⁹⁹. Que ce soit pour la reconnaissance géologique²⁰⁰, les chaussées, la protection des talus, les sols sensibles, une normalisation, toujours plus poussée, est impulsée par le LCPC et le SETRA²⁰¹.

3.3.4 Traiter toujours plus, plus varié, plus loin

Au-delà de la construction routière, l'importance de cette technique pour la pratique spatiale s'observe dans les évolutions de l'usage du liant hydraulique dans les travaux publics depuis les années 1960. D'abord, on observe une diversité toujours plus grande des matériaux et liants utilisés. Ensuite, sont apparues des techniques nouvelles, avec la même logique de séparation de l'infrastructure de son sol. Enfin, nous montrons une généralisation dans le

196. Un article qui décrit un chantier sur l'autoroute du Nord déplore que la cadence de travail des mois d'hiver soit la moitié de celles des mois d'été à cause des "influences climatiques sur les terrains sensibles à l'eau" (*L'Équipement Mécanique*, avr. 1965, p. 81). Voir aussi : *RGRA* (FP, nov. 1977).

197. Si la technique du traitement des sols s'impose, c'est qu'elle est profitable malgré son coût en machines. En effet, elle nécessite l'utilisation de matériels spécifiques comme des silos de stockage, des épandeurs à doseur volumétrique asservis à la vitesse d'avancement, des engins de malaxage, de compactage, etc.

198. Le progrès du traitement en place est étroitement lié à l'évolution des matériels d'épandage et de malaxage, qui est elle-même dépendante de l'existence de grands chantiers. Comme pour les terrassements, les nouveaux matériels créent des gaspillages – les faibles doses de chaux vive nécessaires sont toujours dépassées du fait de l'imprécision des épandeurs. Voir : *Bull. liaison* (mars-avr. 1976); SETRA et LCPC, *Recommandation pour le traitement des sols fins à la chaux*, 1972.

199. Ceci se repère dans la vocation des cartes géotechniques : permettre l'utilisation la plus rationnelle et la plus rentable du terrain, c'est-à-dire d'éviter au maximum les imprévus, les retards et les gaspillages divers.

200. "Le développement des moyens de reconnaissance géologique et géotechnique, s'ils n'ont pas encore permis de supprimer totalement les aléas d'exécution, sont néanmoins un facteur capital dans la possibilité même de réaliser des travaux aussi importants que ceux auxquels on assiste aujourd'hui" (*Bull. liaison*, mars-avr. 1976).

201. Ces institutions rationalisent les techniques au travers des guides de recommandations pour la stabilisation des sols limoneux ou argileux à la chaux, ou la construction des remblais et couches de forme : SETRA et LCPC, *Recommandation pour le traitement des sols fins à la chaux*, op. cit. ; idem, *Recommandation pour les terrassements routiers*, op. cit. ; idem, *Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule I. Principes généraux*, op. cit. ; SETRA et LCPC, *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application en assises de chaussées*, Guide technique, 2007.

BTP du traitement des sols à la chaux et au ciment, avec toujours la même perspective : pouvoir produire, de façon industrielle, le bâti souhaité sur n'importe quel sol. Pour des motifs historiques variés, la stabilisation des sols a donc connu un développement inouï depuis les routes tunisiennes des années 1930.

Diversités des techniques (jusqu'à la valorisation)

L'histoire des techniques de construction routière sur la période 1940-1980 est celle de l'empilement des couches stabilisées (figure 3.9). Du revêtement au sol, chaque couche d'une autoroute résulte du traitement d'un matériau²⁰² : le liant chimique (goudron, bitume, ciment, chaux, etc.) s'est propagé verticalement dans l'infrastructure routière. Si le traitement varie, avec en général une technologie plus sophistiquée, des matériaux plus sélectifs et un coût supérieur en s'approchant de la surface, l'idée reste celle du béton (mélanger des matériaux et du liant, les répartir uniformément et les compacter).

Prendre l'ampleur des effets dans le temps long de la stabilisation des sols exige de saisir les variations du vocabulaire. Il existe un glissement, dans les discours et les écrits, de la "stabilisation", à "l'amélioration", puis au "traitement" et, enfin, à la "valorisation" (ces signifiants pouvant, bien sûr, coïncider dans une même période). Les recherches connaissent un essor spectaculaire depuis les années 1960 : toujours plus de sols sont analysés, par de nouveaux essais, pour décider de leur aptitude à recevoir un traitement, mais aussi de nouvelles machines, liants, etc. Certains ingénieurs vont jusqu'à dire que "tout sol peut être stabilisé" : à chaque matériau est associé, selon sa sensibilité à l'eau, un traitement bien spécifique au liant hydraulique. La valorisation de déblais ou de matériaux locaux divers, dont "l'utilisation serait autrement difficilement envisageable", est déclarée économique²⁰³. Plutôt que de mettre en dépôt les sols "médiocres" (limoneux ou argileux), les divers traitements permettent leur réemploi dans les travaux de terrassement²⁰⁴ – par exemple, la construction des remblais autoroutiers²⁰⁵. Depuis 1945, la gamme des matériaux "traitables" a été considérablement agrandie, bien au-delà des sols sensibles ou autres mauvais matériaux naturels. Comme nous le montrerons au dernier chapitre, le traitement chimique va permettre l'absorption de quantités phénoménales de déchets industriels, auparavant inacceptables dans le corps des chaussées. La famille des liants va aussi s'agrandir : après le ciment et le bitume, viennent le liant hydraulique routier (inventé dans les années 1980), liant pouzzolanique, mixte chaux-ciment,

202. Schématiquement, on a pour une chaussée souple : la couche de roulement faite d'enrobés traités au liant hydrocarboné ; traitement des couches de fondation et couches de base aux liants hydrauliques ; généralisation du traitement à la chaux et au ciment de la couche de forme et de la plateforme de terrassement (*RGRA*, mai 1976, p. 41). Un article de *Chantiers de France* (juil.-août 1977, p. 68) s'interroge : puisque toutes les sous-couches des routes sont rigidifiées, doit-on encore parler de chaussées "souples" ?

203. *PCM* (mars 1966, p. 62-63).

204. Peltier, selon qui la géotechnique routière se propose d'utiliser les matériaux naturels, avec le minimum de préparation et de transport, l'avait prédit : "on pourrait valoriser des gisements considérables par amélioration au ciment" (*Annales PC*, juil.-août 1950).

205. La stabilisation autorise de réutiliser les matériaux de l'emprise. En 1977, un commentaire l'atteste dans une formation : "on réalise actuellement des remblais importants avec des matériaux (marnes ou argiles) qui auraient été éliminés d'office il y a dix ou quinze ans. (...) ceci est dû surtout à l'amélioration des techniques de traitement des sols." (*RGRA*, FP, nov. 1977, p. 3).

laitier de haut-fourneau granulé et les cendres volantes²⁰⁶. Avec les politiques de développement durable et d'économie circulaire²⁰⁷, n'importe quel déchet, *a priori* inutilisable, peut être valorisé, de façon souvent médiocre, dans un chantier de terrassement par un traitement mineur au liant hydraulique²⁰⁸. Le traitement permet de valoriser de “mauvais matériaux” locaux²⁰⁹, de réduire l'extraction de “bonnes ressources”, et les transports associés (moins d'emprunts et de dépôts hors du chantier), mais aussi de valoriser de nombreux déchets et de réduire l'épaisseur des couches (les couches traitées au ciment étant moins épaisses que celles traitées mécaniquement).

Liants synthétiques

Des petits symptômes témoignent parfois de grandes tendances en cela qu'ils sont prototypes de leurs effets. Les années 1970-80, et encore plus la décennie 1990²¹⁰, amènent une autonomisation d'un sous-champ dans le champ de la géotechnique, ainsi que de nouveaux dispositifs de séparation d'avec les sols et de mise hors d'eau (étanchéification de la plateforme) : les géosynthétiques²¹¹ (géomembranes, géotextiles²¹²). L'intérêt technique consiste, encore, en “l'amélioration” des “propriétés mécaniques ou hydrauliques des sols et des ouvrages où ils sont incorporés²¹³”. Ils apportent une résistance en traction que le sol seul ne possède pas. En particulier, l'idée est d'empêcher le développement de ruptures localisées dans le sol naturel en ses zones les plus faibles, de bénéficier ainsi de la résistance moyenne du sol naturel au lieu d'avoir à subir l'effet des points les plus faibles. L'extrait suivant s'avère un parfait résumé de cette nouvelle technologie : d'abord il est souligné que les sols mous constituent un problème, ensuite que le géotextile a un rôle de séparation, enfin qu'il permet des économies en matériaux.

206. Il est possible de les utiliser séparément ou de les combiner : les ciments peuvent être utilisés en association avec certains liants (*RGRA*, nov. 1962, mai 1963, jan. 1970).

207. Depuis une vingtaine d'années, avec le soutien d'organismes de recherches, les études se multiplient dans cette perspective écomoderniste. Une étude du SPTF souligne qu'en 2000, au moins 50 % des sols fins auraient été mis en dépôt et encourage les ingénieurs à réduire ce taux. La valorisation privilégiée est bien modeste puisque la matière intègre souvent des remblais (chap. 5). Voir : Saussaye, *op. cit.*, p. 19.

208. Le traitement demande parfois une proportion importante de liant hydraulique : 15 % pour valoriser des sédiments marins par exemple.

209. La revue *Terrassements & carrières* (1998), dans un article intitulé “Liant routier : de l'économie à l'écologie”, offre la substantifique moelle de ce mouvement : “une meilleure expertise des sols a permis à terme de pouvoir traiter n'importe quel type de terrain soumis à divers climat”. Comme pour la végétalisation des talus, la profession a subtilement transformé la stabilisation en “contribution au Développement Durable”, à partir des années 1970. Voir : <https://www.infociments.fr/liants-hydrauliques-routiers/le-traitement-des-sols-en-place-froid-aux-liants-hydrauliques-routiers-lhr>

210. Premier congrès français de géotextiles et géomembranes en 1993 (*Chantiers de France*, oct. 1993).

211. Tant du point de vue des pratiques effectives que des recherches, la nouveauté est toujours relative. On trouve ainsi un article intitulé “De l'emploi de la toile imperméable dans les fondations par immersion” dans les *Annales PC* (1834, vol. 1, pp. 125-128).

212. Le développement des produits dit “non-tissés”, à partir de 1970, a eu son origine dans la collaboration de la Société *Rhône-Poulenc* et des LRPC pour les applications de terrassement et de drainage routier (*PCM*, déc. 1978). Sur ces produits, voir : *Bull. liaison* (mars-avr. 1976) ; *PCM* (déc. 1978, nov. 1986) ; *Chantiers de France* (déc. 1984, juin 1988, juil.-août 1988) ; *RGRA* (déc. 1973, mars 1991) ; *Terrassements & carrières* (n°50, 2002).

213. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1974, p. 61).

“Lorsqu’il s’agit de réaliser une piste de circulation ou une plate-forme sur un sol mou dépourvu de végétation tel que vase littorale, fond de fouille, sol naturel terrasse, etc., un autre *intérêt du géotextile est de constituer une séparation entre le sol et le matériau d’apport et de permettre ainsi à ce dernier de ne pas perdre ses qualités par mélange avec le mauvais sol sous-jacent* ; on économise ainsi des matériaux de bonne qualité et on évite des pertes de temps ; ces deux points sont intéressants dans les conditions actuelles d’exploitation des gisements naturels et dans le contexte économique et financier des travaux, qui tendent à raccourcir toujours davantage les délais et qui rendent de plus en plus inacceptable la paralysie d’un chantier de terrassement en mauvaise saison. Dans les travaux routiers et autoroutiers on trouve à deux niveaux le type d’usage des géotextiles qui vient d’être décrit : d’une part à la base des remblais sur sol naturel humide, d’autre part sous des couches de forme²¹⁴.”

Plus loin, l’article conclut que ces matériaux appartiennent à la famille des liants. Un géosynthétique est dès lors présenté comme un matériau de construction comme un autre. L’autonomisation suit : colloque international (plus de 500 participants venus de 29 pays) organisé en avril 1977 à Paris par le LCPC et l’ENPC, sur le thème de l’emploi des textiles en géotechnique ; naissance en 1978 du Comité français des géosynthétiques ; création à Paris en novembre 1983 de la Société internationale des géosynthétiques²¹⁵. Ces géotextiles vont servir pour renforcer les remblais mous des autoroutes et routes²¹⁶, mais aussi les voies ferrées, travaux fluviaux et maritimes, drainage, assainissement, terrains de sport, etc. En 2000, le monde consomme 700 Mm² de géotextile (dont 75 Mm² en France) – contre environ 10 000 t en 1978 – et 6 Mm² de géomembranes.

Généralisations

L’évolution quantitative des liants hydrauliques dans le métabolisme des grandes infrastructures est difficile à établir pour différentes raisons : comme la consommation est quasiment nulle en 1950, toute hausse prend une allure exponentielle ; aucune donnée agrégée n’est disponible, sauf pour des travaux routiers pour les années récentes ; des métriques diverses (tonne, m², m³) sont utilisées sur les chantiers ; certaines sources fournissent les volumes de terre traités alors que d’autres citent les quantités de liants. Dans une conférence en 1993, dans la formation continue de l’ENPC, le chiffre de 50 Mm³ de sols limoneux traités entre 1968 et 1975 est cité²¹⁷. Cette estimation est une borne minimale puisque qu’il ne s’agit que des routes et, de plus, un type de traitement (à la chaux) parmi d’autres. En 2017 et 2018²¹⁸, le volume total annuel du traitement de sol à la chaux et/ou aux liants hydrauliques

214. *PCM* (déc. 1978, p. 55, je souligne).

215. N. Touze-Foltz, « Les géosynthétiques, itinéraire d’une recherche partagée », *Sciences Eaux & Territoires* 18.1 (2016), p. 6-9.

216. Une illustration : celui d’une déviation (RN 13 entre Caen et Cherbourg) qui traverse des terrains limoneux et argileux. En plus des systèmes drainants, des géotextiles de séparation sont utilisés massivement (850 000 m²) : d’une part entre le sol support et la couche drainante de 60 cm, d’autre part entre la couche drainante et la couche de forme de 35 cm (*Terrassements & carrières*, n°46, p. 22).

217. *Terrassements & carrières* (4ème trim. 1993, p. 26).

218. Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, juin 2019, p. 9.

en construction routière se situe entre 2,5 Mm³ et 3,1 Mm³ – la baisse serait très nette par rapport au début des années 1970²¹⁹.

La généralisation qualitative est, en revanche, flagrante. Dès le début de la mécanique des sols, il ne faisait pas de doutes que ce qui était développé pour les routes allait pouvoir s'appliquer dans d'autres infrastructures²²⁰. Toutes les méthodes sont transférées d'un chantier l'autre. Les procédés de stabilisation des talus ou des remblais sur sols compressibles ont été diffusés, y compris avec l'étude grandeur nature²²¹. La stabilisation des sols et des fondations par des liants divers, accompagnée d'autres procédés de drainage et de consolidation des talus, devient la norme pour tous les grands chantiers du BTP à partir des années 1970. Après les aérodromes et les autoroutes²²², ces techniques se généralisent à toute la pratique spatiale : usine Toyota à Valenciennes²²³, plateforme d'aires industrielles²²⁴, plateforme logistique de l'entreprise Conforama²²⁵, voiries légères et rocadés, pistes d'envol²²⁶ (celle du Concorde²²⁷, Roissy²²⁸ ou Orly²²⁹), centrales nucléaires²³⁰ ou LGV²³¹.

3.4 Une autre histoire du ciment

En plus de l'adaptation d'un sol à un certain type de bâti, la stabilisation des sols répond à des exigences sociales : ce ne sont pas les propriétés naturelles qui sont “mauvaises”, au

219. La consommation française de liant hydraulique routier varie depuis 2000 entre 0,65 et 2 Mt. Soit vingt fois moins que celle du ciment – qui se situe entre 17 et 25 Mt. Pour avoir un ordre d'idée, un chantier de taille moyenne, celui d'une plateforme logistique (*Routes*, déc. 2010), a exigé le traitement de 30 000 m² de sol avec 1 000 t de liant. La consommation de chaux dans le génie civil varie depuis 1990 entre 300 kt et 550 kt par an entre 1990 et 2004 : <https://www.unicem.fr/wp-content/uploads/la-chaux-notre-expertise.pdf>.

220. Ainsi, un article sur les études des sols routiers dans la *RGRA* (nov. 1934, p. 445) explique que celles-ci “peuvent s'appliquer à d'autres constructions que les routes, par exemple aux bâtiments fondés sur terrains remblayés et, en général, sur tout terrain douteux ; elles s'appliquent, en tout cas, à la construction des digues ou terrasses et à l'amélioration des remblais ou des sols naturels défectueux”.

221. Lors de Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie de l'Ingénieur, ou lors Rencontres Géosynthétiques de 2008, des présentations transposent ces techniques aux LGV.

222. Sur un lot de l'autoroute A39 entre Dijon et Dole, où les remblais se situent en zone inondable : 1,6 Mm³ doivent être traités par 50 kt de chaux (*Terrassements & carrières*, 3^{ème} trim. 1996).

223. Les surfaces dépassent le million de mètres carrés et les terrassements généraux remuent environ de 1,5 Mm³ de terre (*Travaux*, sept. 1999 ; *Terrassements & carrières*, 2^{ème} trim. 1998). Une stabilisation du sol par un traitement au ciment et aux liants hydrauliques est appliquée (30 kt de chaux et 32 kt de liant).

224. SPTF, *Guide pour la réalisation des terrassements des plateformes de bâtiments et d'aires industrielles dans le cas de sols sensibles à l'eau*, Syndicat Professionnel des Terrassiers de France, décembre 2009.

225. Un traitement à la chaux suivi d'injection de ciment : <https://www.idec-ingenierie.com/article-fr/construction-du-plus-grand-entrepot-logistique-de-france-par-idec-point-detape-1/>

226. Au début des années 1970, une piste est constituée d'une couche de béton qui repose sur une couche de grave traitée au ciment qui est elle-même sur un sol traité à la chaux (*RGRA*, nov. 1973).

227. Un total de 160 000 m³ de sols traités (*L'Équipement Mécanique*, août-sept. 1968, p. 79).

228. A Roissy, la chaux est utilisée pour traiter 420 000 m³ en remblais alors que du ciment est destiné aux 180 000 m³ de couche de forme (*Terrassements & carrières*, 1^{er} trim. 1998).

229. Un total de 700 000 m² de sol traités : <https://www.spiebatignolles.fr/notre-groupe/nos-entites/spie-batignolles-valerian/realisation/piste-3-aeroport-paris-orly/>

230. A Gravelines, pour limiter les tassements des bâtiments (jusque 44 cm pour le réacteur), il a été réalisé, sous l'ilot nucléaire, un radier général de trois mètres d'épaisseur moyenne, constitué d'un sol ciment armé. D'autres solutions ont été étudiées à Nogent-sur-Marne (*RFdG*, n°41, 1987).

231. Un exemple : pour un petit tronçon de 22 km de la LGV Est (*Terrassements & carrières*, n°47, 2002), 1 Mm³ de sols sont stabilisés (par 35 kt de chaux vive et 33 kt de ciment), à une cadence de 30 000 m³/jour.

contraire de ce qu'affirment les ingénieurs, mais le fait que ce bâti soit inadapté à ce sol²³² et que celui-ci doit être modifié pour industrialiser la production d'espace. Il nous faut à présent déplier les propriétés socio-historiques qui expliquent la centralité des liants hydrauliques dans le métabolisme des travaux publics – ou pourquoi la rencontre des géotechniques avec l'histoire du ciment n'est pas fortuite. Étudier le ciment par son rôle dans la stabilisation apporte un nouvel éclairage sur son histoire. Nous montrons dans cette section que les caractéristiques qui font le succès de la stabilisation chimique – libérer le bâti du sous-sol (3.4.1), industrialiser les chantiers (3.4.2), et fournir une résistance supérieure (3.4.3) – ont contribué au succès mondial du béton de ciment²³³. La domination du ciment n'advient donc pas par sa seule force intrinsèque, relevant de ses propriétés techniques. Après avoir déplié les difficultés historiques de son utilisation et sa diffusion, malgré des soutiens puissants, nous expliquons comment la solidité du bâti a été capturée par quelques entreprises (3.4.4).

3.4.1 Libération (chimique) des sols

“On conçoit déjà qu'étant maître des proportions, on l'est également de donner à la chaux factice le degré d'énergie que l'on désire et d'égaliser ou de surpasser à volonté les meilleures chaux naturelles²³⁴.”

“Quelle sera la récompense de Vicat, celui d'entre nous qui a fait le seul progrès réel à la Science des constructions²³⁵.”

Produire industriellement des grandes infrastructures, c'est produire une “libération des sols²³⁶”. Comme celles-ci exigent de passer sur tous les terrains, d'être opérationnelles en toutes circonstances, et d'être construites similairement, elles doivent nécessairement être hors-sol. La stabilisation chimique est l'opération qui rend cette propriété possible : elle sépare le dessous du dessus, *infra* et *super*-structure, par une plateforme insensible aux aléas climatiques. Il est remarquable que cet affranchissement de la production d'espace de la géologie par la chimie soit un aspect fondamental dans l'histoire de la chaux hydraulique, donc du ciment lui-même²³⁷.

232. Les thèses en génie civil racontent toujours le même récit sur la stabilisation qui existerait depuis la muraille de Chine et, bien sûr, les voies impériales romaines (la *Via Apia* est sans cesse citée). Idem pour les géosynthétiques qui existeraient sous forme de tissés de paille depuis des millénaires en Mésopotamie. Comme si les développements des années 1960 ne faisaient que prolonger ces applications historiques très spécifiques.

233. Sur le ciment au Pérou et en Afrique de l'Ouest, voir : P. Harvey, « Cementing Relations : The Materiality of Roads and Public Spaces in Provincial Peru », *Social Analysis* 54.2 (2010), p. 28-46 ; A. Choplin, *La vie du ciment en Afrique. Matière grise de l'urbain*, vuesDensembleEssais, Genève, MetisPresses, 2020.

234. L.-J. Vicat, « Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires », *Conseil des Ponts et Chaussées et Académie Royale des Sciences* (1818), p. 7.

235. Cet extrait apparaît dans une lettre dans laquelle, paradoxalement, son auteur critique vivement les grandes Écoles françaises : H. de Balzac, *Le curé de village*, Collection Folio 659, Paris, Gallimard, 1975.

236. Un professeur utilise cette expression (“libérer le sol”) dans un entretien pour vanter les recherches géotechniques auprès des concepteurs (*Chantiers de France*, déc. 1973, p. 2).

237. Jusqu'à la fin du XIXe siècle, il existe une grande confusion sur les usages des mots béton, ciment, chaux hydraulique et mortier. Les chaux qui ne durcissent qu'à l'air sont appelées chaux « aériennes » ; celles qui durcissent sous l'eau « chaux hydrauliques ». Le ciment est obtenu par cuisson de mélanges homogènes de calcaire et d'argile finement broyés et parfaitement dosés. Voir : C. Avenier, « Béton : les mots et les choses », dans : *Sacré béton ! Fabrique et légende d'un matériau du futur*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Lyon, Libel, 2015, p. 14-21.

Si les utilisations de liants hydrauliques sont banales et courantes jusqu'au tournant du XIXe siècle, imbriquées dans des savoir-faire vernaculaires²³⁸, le champ scientifique va transformer le monde de la construction en cherchant à théoriser leur dureté²³⁹. Ainsi, le débat sur la solidité des mortiers est permanent au XVIIIe siècle au sein de l'Académie des Sciences²⁴⁰. La quête d'une formule de la solidité, contemporaine des développements de la chimie et l'amélioration des instruments de mesure, repose sur d'innombrables théories et expérimentations dans les chantiers – où les ingénieurs s'attachent à fixer une expérience reproductible de “fabrication de solidité”. Les bâtisseurs connaissent bien la pouzzolane (terre volcanique de la région de Naples qu'on retrouve dans d'autres régions), le trass de Hollande, et quelques carrières de pierre à chaux réputées en France (Senonches, Boulogne, Passy, région de Senlis, Metz²⁴¹), mais peinent à expliquer ce qui leur confère leur qualité. Cette diversité illustre l'hétérogénéité géologique de quelques “bons mortiers” de l'époque et le fait que les chaux naturelles étaient renommées selon leur lieu de provenance. Comme ces matières sont parfois éloignées des lieux où l'on souhaite construire, donc trop chères à importer²⁴², les recherches se multiplient pour trouver les “bonnes pierres” dans tout le pays, mais surtout pour en fabriquer “artificiellement”. Les pierres à imiter, pour leur compacité et dureté, restent celles de l'Antiquité²⁴³. En particulier, scientifiques et ingénieurs cherchent à comprendre, dans ces “bonnes pierres”, quel élément permet de faire prise sous l'eau (*sub aqua solidescunt*). C'est Louis Vicat, ingénieur des Ponts et Chaussées, qui détermine le responsable en 1817 :

238. Un consensus historiographique se dégage sur l'utilisation de divers liants hydrauliques relativement proches du ciment jusqu'au XVIIe siècle : A. Guillaume, « From lime to cement : The industrial revolution in French civil engineering (1770–1850) », *History and Technology* 3.1 (1986), p. 25-85 ; C. Mukerji, « Tacit Knowledge and Classical Technique in Seventeenth-Century France : Hydraulic Cement as a Living Practice among Masons and Military Engineers », *Technology and Culture* 47.4 (2006), p. 713-733.

239. Pour une histoire internaliste des différentes productions de chaux et des mortiers (le nom du ciment jusqu'au milieu du XIXe) de l'Antiquité au XVIIIe siècle, ainsi que les différentes conceptions des scientifiques et chimistes sur le cycle de la chaux, voir : Guillaume, « From lime to cement », *op. cit.* ; *idem*, *Bâtir la ville*, *op. cit.* ; K. Van Balen, « Contribution to the Understanding of the Lime Cycle during History in Western Europe », *Aardk. Mededel.* 13 (2003), p. 81-90 ; J. Elsen, « Microscopy of historic mortars—a review », *Cement and Concrete Research* 36.8 (2006), p. 1416-1424 ; J. Elsen, G. Mertens et R. Snellings, « Portland cement and other calcareous hydraulic binders : history, production and mineralogy », dans : *Advances in the Characterization of Industrial Minerals*, sous la dir. de G. Christidis, 1st, Mineralogical Society of Great Britain & Ireland, 1^{er} août 2011, p. 441-479 ; J. Elsen, K. Van Balen et G. Mertens, « Hydraulicity in Historic Lime Mortars : A Review », dans : *Historic Mortars*, sous la dir. de J. Válek, J. J. Hughes et C. J. W. P. Groot, Dordrecht, Springer Netherlands, 2012, p. 125-139.

240. Perrault, traducteur du texte de Vitruve, publie un Mémoire à l'Académie des Sciences en 1668 dans lequel il fournit l'énigme clé du ciment : “comment une pierre après avoir perdu sa dureté dans le feu, la reprend par le moyen de l'eau, étant mêlée avec du sable ?” Cité dans Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau*, *op. cit.*, p. 11.

241. Des régions souvent citées : Guillaume, « From lime to cement », *op. cit.*, p. 28 ; Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 88.

242. “Comme nos meilleurs ciments, ces produits volcaniques unis à la chaux lui communiquent la propriété de durcir sous l'eau et de produire d'excellents bétons, mais ils sont d'un prix trop élevé dans les localités qui ne les contiennent pas.” *idem*, *op. cit.*, p. 14.

243. Il est souvent répété que les Romains auraient inventé la chaux hydraulique. Désoccidentalisons un peu le récit. Rome n'a pas eu l'exclusivité de cette invention car les balinais, qui fabriquent depuis la plus haute Antiquité, de la chaux à partir des coraux qui entourent leur île, en se servant de noix de coco comme combustible, mélangent depuis deux mille ans celle-ci avec les cendres de leur volcan. Il y a sur l'île de Bali des murets de rizières en terrasses datant du second siècle avant J.-C. (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1999).

non pas, comme de nombreuses théories le prétendaient, le manganèse ou l'alumine, mais la silice (présente dans l'argile). Plus précisément, il détermine dans quelle proportion la silice doit se mélanger au calcaire pour fournir un bon liant hydraulique²⁴⁴. Cette première théorie expérimentale a déjà pour origine une question de stabilité de la production d'espace puisqu'elle répond au problème des fondations du pont de Saillac sur la Dordogne, dont il est responsable depuis 1812. Vicat parvient ainsi à accroître le rendement des chaux médiocres en leur adjoignant la silice manquante et en les recuisant avec une certaine proportion d'argile²⁴⁵. Le geste est impossible à surestimer tant il est crucial : la solidité est transférée d'une géologie spécifique au laboratoire de chimie, science dont l'importance est célébrée par les commentateurs de l'époque²⁴⁶. Cette libération de la géologie²⁴⁷, comme le rôle de la chimie et l'utilité pour les fondations des travaux publics, est soulignée dès la présentation de son Mémoire à l'Académie des Sciences²⁴⁸. Celle-ci valide l'expérience, qu'il reproduit devant elle comme au Conseil des Ponts et Chaussées²⁴⁹. La théorie ("de l'hydraulicité") qui explique la prise et le durcissement des ciments ne sera établie qu'en 1887 par Henry Le Chatelier.

Comme le "moment Terzaghi", ce "moment Vicat"²⁵⁰ (omniprésent dans les travaux des savants et historiens de l'époque²⁵¹ et jusqu'à aujourd'hui²⁵²) est à la fois l'aboutissement de

244. Une chaux hydraulique qui "permet d'obtenir en très peu de temps, sans le recours de pouzzolanes, des mortiers au moins égaux en dureté aux meilleurs mortiers romains" : Vicat, *op. cit.*, p. 94.

245. Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau, op. cit.*, p. 15.

246. En août 1817, Vicat publie un sommaire dans les *Annales de Chimie* qui annonce sa longue publication de 1818. Dans la préface de son Mémoire, il écrit : "j'ai profité de toutes les lumières que la chimie moderne a jetées sur des phénomènes autrefois inexplicables ; ma reconnaissance doit donc naturellement se reporter vers ceux dont les savantes recherches ont été la source de ces bienfaits" : Vicat, *op. cit.*, p. xii.

247. A notre connaissance, seul Cyrille Simonnet entrevoit cet aspect sans le développer davantage. Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau, op. cit.*

248. Le rapport commence par décrire Vicat comme "constructeur et chimiste". Il met l'accent sur le fait que Vicat a prouvé qu'il est possible de produire "de toutes pièces" des chaux hydrauliques qui l'emportent en qualité sur les chaux naturelles de Metz et Senonches, alors jugées les meilleures du pays.

249. Le rapporteur rend hommage "à la chimie moderne d'avoir tracé la véritable route à suivre pour arriver à une théorie complète" sur les propriétés des mortiers. Plus loin : "Les avantages qui doivent résulter, pour les travaux publics et particuliers, de la propagation des nouveaux procédés et de la théorie de M. Vicat, lorsque l'essai en aura été fait en grand, sont innombrables. Ils dispenseront de l'emploi dispendieux des véritables pouzzolanes (...) c'est surtout dans les travaux des ponts et chaussées que l'emploi des mortiers hydrauliques trouvera fréquemment son application, et spécialement dans la construction des radiers, des bajoyers des écluses et des aqueducs, qu'il est si important de rendre imperméables ; des murs de quai dont on est contraint d'augmenter l'épaisseur en raison du peu de cohésion des mortiers dans les premières années ; des chapes, des réservoirs, et en général de tous les ouvrages sous l'eau, ou destinés à en contenir. L'on peut même prévoir que d'ici à quelques années il ne sera plus permis d'employer d'autre mortier dans les constructions publiques". Dans : Vicat, *op. cit.*, p. v-vi.

250. Le titre "d'invention" aux trouvailles de Vicat est contestable et contesté. La révolution qui s'opère dans la théorie doit s'expliquer par une analyse de l'état des champs dans lesquels elle s'inscrit.

251. Par exemple : "Au milieu des essais publiés était déposée une idée mère, une de ces pensées qui sont à elles seules le germe d'un art. Elle y restait enfouie, inaperçue ; M. Vicat lui a donné la vie. Quels qu'aient été les travaux de ses prédécesseurs, quelles que soient les découvertes de ses successeurs, quelques modifications que subissent les procédés actuels, il nous paraît devoir être regardé comme le créateur de l'industrie des chaux et des mortiers." A. Berthault-Ducieux, *Théorie et pratique des mortiers et ciments romains*, Paris, Carillan-Goeury, 1833, p. 2.

252. Sans déposer de brevet, ni jamais bénéficier matériellement de sa découverte, et en partie pour cette raison, Vicat recevra d'importants gains symboliques jusqu'à la fin de sa vie. Fourier, Arago, Balzac, et de très nombreux ingénieurs des Ponts et Chaussées le vénèrent. Il est décoré par la mairie de Paris et reçoit

recherches entreprises depuis des décennies en France et en Angleterre²⁵³. Comme Terzaghi, Vicat est particulièrement actif. Pendant les décennies qui suivent sa découverte, il expérimente, divulgue, promeut son liant à travers de nombreuses publications et interventions (auprès des ingénieurs et pouvoirs publics). Il parcourt la France pendant plus de vingt ans et met à jour plus de neuf cents carrières capables de fournir de bonnes chaux hydrauliques naturelles (c'est-à-dire avec les proportions adéquates de calcaire et de silice). Pour chaque département, il publie des *Recherches statistiques sur les calcaires à chaux hydrauliques*²⁵⁴ dans les *Annales des Ponts et Chaussées*²⁵⁵. Dès 1828, il affirme : “On connaissait à peine une douzaine de localités fournissant de la chaux hydraulique en France, il y a vingt-cinq ans ; aujourd’hui on ne peut plus les compter ; nous en avons trouvé partout où nous avons eu mission d’en chercher, même en Bretagne [région avec peu de pierre calcaire].”

A long terme, la chaux hydraulique issue de la calcination à haute température du mélange de chaux et d’argile, disponible partout, ouvre des perspectives énormes pour la pratique spatiale. Vicat renverse la théorie (dite “vitruvienne”) qui veut que les bonnes chaux viennent des calcaires les plus purs, géologiquement circonscrits : comme l’explique Simonnet, alors qu’auparavant seules les matières premières “d’origine contrôlée” étaient autorisées, désormais “tout entrepreneur pouvait, sur la foi d’une formule bien appliquée, produire sur place le meilleur mortier, quelle que fût la qualité des calcaires extraits, et donc assurer, par le biais d’une cuisson attentive et d’une combinaison sélective des matières premières, la solidité des ouvrages²⁵⁶”. La chimie et les “justes proportions” de calcaire, argile et combustible, aboutissent à surpasser les rares carrières qui offrent un calcaire à fort rendement d’hydraulicité. Outre Vicat lui-même, les contemporains entrevoient immédiatement cet aspect. Un *Traité de l’art de faire des bons mortiers* l’explique en 1828 : “partout où l’on trouve de la chaux, de la terre et du sable, on peut faire les meilleurs mortiers hydrauliques, c’est-à-dire le meilleur possible, soit qu’on l’emploie à l’eau ou à l’air²⁵⁷”. Dans la *Pratique de l’art de construire*,

des récompenses de riches entrepreneurs : commandeur de la Légion d’honneur en 1846 ; décoré des ordres étrangers de Sainte-Anne de Russie, de l’Aigle rouge de Prusse, des Saints-Maurice et Lazare ; grande médaille d’honneur à l’exposition de 1855. Difficile de soutenir, comme le fait son petit fils et directeur de l’entreprise des Ciments Vicat, qu’il fuyait les honneurs : L. Merceron-Vicat, *Vicat, sa vie et ses travaux. Avec des notes*, Grenoble, Allier frères, 1903 ; Simonnet, *Le Béton, histoire d’un matériau, op. cit.*, p. 193.

253. Avant Vicat, Vitalis ou Collet-Descolis (celui-ci est cité par Vicat) ont déjà compris que c’est l’argile, et la silice, qui fait la force d’une bonne chaux. Le mélange calcaire-silice est expérimenté en pratique à plusieurs reprises avec succès, notamment pour les routes en Champagne entre 1792 et 1802. Dès 1756, l’anglais John Smeaton comprend le rôle de l’argile dans l’hydraulicité des chaux et produit une chaux hydraulique sans pouzzolane. Selon Guillaume, son livre devait être connu de Vicat puisqu’il est traduit en 1810 et disponible à la bibliothèque de l’École Impériale des Ponts et Chaussées. Voir : Guillaume, « From lime to cement », *op. cit.*, p. 40 ; *idem*, *Bâtir la ville, op. cit.* ; Simonnet, *Le Béton, histoire d’un matériau, op. cit.*, p. 17 ; Avenier, *op. cit.*, p. 16.

254. Il se donne pour tâche de prouver que toutes les formations calcaires renferment “des couches propres à fournir par une calcination convenable, non-seulement des chaux hydrauliques de bonne qualité mais aussi les cimements plus ou moins actifs” (*Annales PC*, 1834).

255. Revue dont il est le plus important contributeur – il y publie 43 articles entre 1831 et 1866. Voir : Montel, *Écrire et publier des savoirs au XIXe siècle, op. cit.*, p. 300.

256. Simonnet, *Le Béton, histoire d’un matériau, op. cit.*, p. 22.

257. L’auteur, qui diffuse déjà les idées de Vicat en Russie, précise : “Ainsi la découverte d’une chaux naturelle très hydraulique n’a d’intérêt que pour la localité où on la trouve ; et les personnes qui en parlent sans autre examen, comme d’une chose qui doit intéresser au-delà, peuvent faire tomber dans deux erreurs très-prononcées : car cette chaux n’est avantageuse, même sur le lieu dont on l’extrait, qu’autant qu’on ne

les auteurs insistent sur la rupture : “Dans les localités où ce calcaire ne se trouve pas [chaux hydraulique naturelle], on fabrique cette chaux [hydraulique artificielle] en faisant un mélange intime de tous les éléments qui doivent entrer dans sa composition.” Dans la première moitié du XIXe, la géographie des bons liants s’est donc considérablement étendue²⁵⁸. Ainsi, plutôt que d’importer à Paris de la chaux hydraulique de Senonches, qui est onéreuse mais de qualité, il devient possible d’en produire sur place puisque les buttes Montmartre, Chaumont et de Romainville contiennent en abondance des calcaires adéquats²⁵⁹. Si des différences existent (cuisson, proportions et type de broyage des matières), la chaux hydraulique artificielle de Vicat est à l’origine du “ciment artificiel” ou “ciment Portland”²⁶⁰.

3.4.2 Libération de la main-d’œuvre

Comme déjà évoqué en section 3.3.3, la stabilisation chimique des sols contribue à l’industrialisation de la production de grandes infrastructures. Si la mécanisation de la pratique spatiale, en particulier des logements, a concerné divers matériaux²⁶¹, elle a connu son apogée avec la préfabrication du béton en usine à partir des années 1950²⁶². Jusqu’à la fin du XIXe siècle, les considérations sur les effets de cette “invention” sur la main-d’œuvre sont secondaires par rapport à la question de la production normalisée de solidité. La mise au point du ciment ne change rien au système constructif : les architectes continuent de concevoir des édifices selon la culture académique de la pierre de taille, simplement remplacée par la “pierre artificielle”. Techniquement, le changement est minime pour les maçons qui ne font que passer du béton d’argile au béton de ciment en remplaçant le pisé par la chaux hydraulique²⁶³. Comme ils sont payés à la journée, ils ont toutefois un intérêt objectif à utiliser un mortier de chaux grasse dont la lente dessiccation ralentit les travaux, alors que la chaux hydraulique artificielle durcit très vite, donc réduit le temps de construction.

La transformation du rapport de forces dans la sphère de la production est relativement lente. Un premier changement tient à la libération de la main-d’œuvre chargée d’extraire la matière : auparavant, un chantier démarrait avec un type de pierre, et devait être achevé avec

peut pas en faire de meilleures et de plus économiques avec les chaux et les terres de la localité explorée, ou avec celles circon-voisines. Enfin, lors même qu’elle l’emporterait par ces deux propriétés, il serait possible qu’à la plus petite distance le prix du transport l’ait rendu plus coûteuse que des chaux factices fabriquées sur les lieux où elle est transportée.” Charleville, *op. cit.*, p. xxxiv-xxxv.

258. Debauve fournit la composition chimique des ciments de chaque localité : Debauve, *Tome troisième, op. cit.*, p. 316.

259. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 78.

260. Le brevet du ciment “Portland” date de 1824 en Angleterre. La première usine de ciment Portland en France est celle de Boulogne en 1853. L’écart entre chaux hydraulique et ciment tient alors surtout à la proportion d’argile (de 21 à 25 % pour le ciment) et la rapidité de la prise : Leduc, *op. cit.*

261. C’est également un atout de la brique, pierre artificielle qui repose sur l’argile et qui peut être produite de façon industrielle : Debauve, *Tome troisième, op. cit.*, p. 170.

262. Le Ministère de l’Urbanisme et de la Reconstruction soutient la préfabrication intégrale, c’est-à-dire la construction en usine de l’ensemble des éléments nécessaire à un logement, le chantier devenant un simple lieu d’assemblage de pièces préfabriquées. Voir : Vayssière, *op. cit.* ; Guillaume, « Techniques et matériaux de construction », *op. cit.* ; P. Jambard, « La construction des grands ensembles, un échec des méthodes fordistes ? Le cas de la Société Auxiliaire d’Entreprises (1950-1973) », *Histoire, économie & société* 28e année.2 (2009), p. 133-147 ; Delemontey, *op. cit.*

263. P. Gras, « Portraits d’inventeurs : des paternités multiples », dans : *Sacré béton ! Fabrique et légende d’un matériau du futur*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Lyon, Libel, 2015, p. 40-53.

la même pierre, de sorte que les entrepreneurs étaient contraints par les carriers et tailleurs qui pouvaient faire grève. L'arrivée du ciment produit des pierres toutes calibrées et moins chères : l'entrepreneur ne dépend plus d'un seul fournisseur, ou de savoir-faire spécifiques, et le chantier, avec une main d'œuvre moins nombreuse, est moins susceptible d'être mis à l'arrêt. L'avantage essentiel du béton, c'est de permettre des constructions homogènes et résistantes, sans nécessiter ni taille ni façonnage, mais simplement un moulage avec un liant²⁶⁴. Le bâtiment, où les métiers du compagnonnage défendent encore un savoir-faire propre à certains matériaux, donc à certains sols²⁶⁵, ne sera durablement affecté qu'avec l'apparition du béton armé dans les années 1890. Ce dernier bénéficie de la dépression économique puisque les entreprises de construction cherchent à réduire leurs coûts, et accroître leur productivité, en imposant un découpage rationnel des tâches leur permettant d'être plus compétitives²⁶⁶. Débute un affaiblissement très important du camp des travailleurs de la construction, qui sont déqualifiés²⁶⁷ et deviennent interchangeable. Ceci est explicite dans divers écrits²⁶⁸, comme dans l'extrait suivant au tournant du XXe :

“La rapidité d'exécution supprime beaucoup de fausses mains-d'œuvre et de pertes de temps. (...) Les diverses mains-d'œuvre, même quand toutes les opérations se font à la main, ne demandent aucun apprentissage. La fabrication complète se passe du concours du maçon cet avantage doit être d'autant plus pris en considération que les salaires des artisans spéciaux s'élèvent incessamment. Il est sage aussi de ne pas perdre de vue que, dans les pays lointains, le recrutement d'un nombre même limité de maçons est problématique, sinon impossible. La suppression des spécialités contrarie les chances de grève : élément qui, de nos jours, intervient dans toutes les estimations. On analyse bien l'économie du béton, en observant que l'ouvrier ne manipule pas les matériaux au sens littéral du mot. Les opérations se résument par de véritables mains-d'œuvre de terrassement, tandis que dans les autres systèmes de maçonnerie, l'homme doit prendre en main chaque élément, placer le mortier, caler, araser, etc.²⁶⁹”

C'est l'époque où Taylor publie son tout premier ouvrage, avec un ingénieur du béton, Sanford Thompson, qui porte précisément sur le béton armé (1907) – traduit en français en 1914. Selon la méthode qu'il rendra célèbre dans *Principles of Scientific Management*

264. Un grand nombre d'opérations (appareiller, tailler, scier, barder, monter, poser) et de métiers, propres aux travaux de maçonnerie disparaissent progressivement avec le béton.

265. Un exemple littéraire parmi d'autre : “Du reste cette réaction des matériaux locaux sur le génie qui les utilise et à qui elle donne plus de verdeur ne rend pas l'œuvre moins individuelle, et que ce soit celle d'un architecte, d'un ébéniste, ou d'un musicien, elle ne reflète pas moins minutieusement les traits les plus subtils de la personnalité de l'artiste, parce qu'il a été forcé de travailler dans la pierre meulière de Senlis ou le grès rouge de Strasbourg, qu'il a respecté les nœuds particuliers au frêne”. Tiré de : M. Proust, *A l'ombre des jeunes filles en fleurs*, Paris, Librairie Générale Française, 1993, p. 504.

266. De nombreux brevets du béton armé sont motivés par la facilité de manipulation du procédé ou le gain de productivité attendu : Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau*, op. cit., p. 146.

267. A. Forty, *Concrete and culture : a material history*, London, Reaktion Books, 2012.

268. “Il est vrai que le béton se fabrique mécaniquement et peut être posé par le premier manœuvre venu, tandis que la maçonnerie ordinaire exige des ouvriers spéciaux, et il n'est pas toujours commode d'en réunir une grande quantité à la fois.” ; ou encore, “le béton a toujours l'avantage de permettre un travail beaucoup plus rapide, puisqu'il se fait mécaniquement sans le concours d'ouvriers spéciaux.” Debauve, *Tome deuxième*, op. cit., p. 43, 53-54.

269. Un ingénieur belge, cité par Leduc, op. cit., p. 475-476.

(1911), il décompose, en les minutant, chaque tâche en une série d'opérations élémentaires afin de calculer les coûts de fabrication en béton. Ce rêve d'industrialisation du bâtiment, qui n'implique que le gros œuvre, ne sera jamais totalement réalisé pour partie à cause des coffrages qui, s'ils amènent des économies immenses, puisqu'ils permettent de produire les mêmes blocs en séries, requièrent beaucoup de main-d'œuvre²⁷⁰. La production industrielle de logements en béton armé n'est pas effective avant les années 1950-1960²⁷¹.

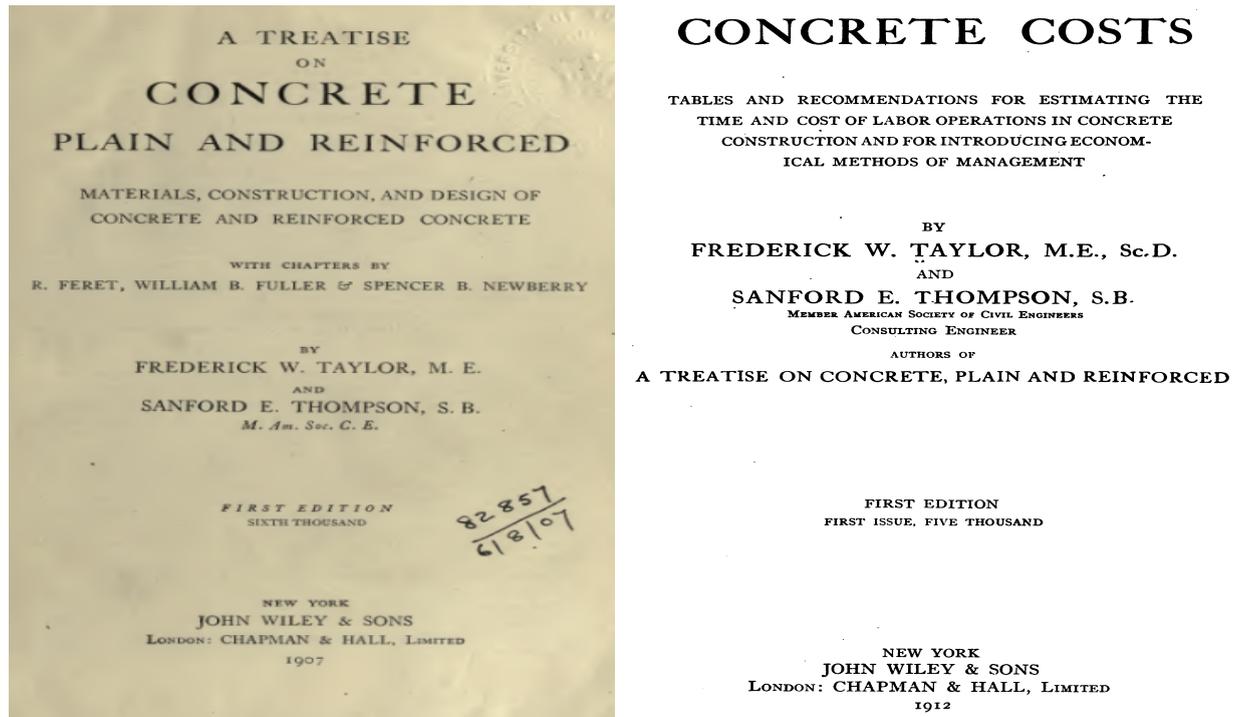


FIGURE 3.10 – Pages de garde des livres de Taylor et Thompson sur le béton armé²⁷².

3.4.3 Hégémonie des résistances (Superman)

Sans surprise, le béton doit principalement son succès aux gains économiques qu'il procure du fait qu'il est facile à fabriquer, avec de la main-d'œuvre peu qualifiée, à partir de matières omniprésentes – granulats, calcaire et argile. L'exemple des routes étatsuniennes et les travaux coloniaux montre pourtant que la recherche de mécanisation et stabilisation ne passe pas forcément par la chimie et le ciment. Insistons sur le fait que les chaussées en béton d'argile, produites mécaniquement, sont très appréciées : d'après Peltier, c'est à peine si elles subissent les effets d'un hiver humide, et en cas de détériorations graves, elles peuvent être reprofilées²⁷³. Ce qui leur manque, c'est la résistance, justement garantie par la chimie. Techniquement, c'est

270. Tant pour leur production que pour leur délicat maniement sur le chantier. C'est une des raisons pour laquelle il y a beaucoup de main-d'œuvre sur le chantier de Donzère.

271. La préfabrication élimine les coffrages sur les chantiers : Vayssière, *op. cit.* ; Delemontey, *op. cit.*

272. F. W. Taylor et S. E. Thompson, *A treatise on concrete. Plain and reinforced*, 1st edition, New York, John Wiley & Sons, 1907 ; F. W. Taylor et S. E. Thompson, *Concrete costs*, 1st edition, New York, John Wiley & Sons, 1912.

273. *Annales PC* (juil.-août 1950).

le ciment qui assure la rigidité du stock de bâti²⁷⁴. Une fonction des nouvelles plateformes et fondations consiste à soutenir un bâti insupportable pour certains sols.

A cet égard, la place des liants hydrauliques comme garants de la résistance dans l'histoire de la production d'espace depuis deux siècles est singulière²⁷⁵. Leur succès tient aussi à la centralité qu'occupe la résistance (des matériaux et des sols) dans les disciplines clés, la mécanique des roches et la mécanique des sols. De fait, la métrique reine pour juger d'un matériau ou d'un sol est la résistance ou la portance (mesurée²⁷⁶ en kg/cm², 7, 14 ou 28 jours après le traitement pour les ciments). Celle-ci, établie par le laboratoire, contribue à établir la valeur d'une matière : plus sa résistance est élevée, plus elle "vaut" et plus elle est légitime dans un procédé de construction. C'est ce qui explique que le béton d'argile s'incline face au béton de ciment, ou que la brique – pourtant construite de façon industrielle et à partir d'une matière abondante (l'argile) – ne s'impose pas face au béton²⁷⁷. L'imposition de certaines normes de résistance²⁷⁸ dans les recommandations des institutions, y compris dans les instructions de l'État, participe à, et consolide, l'hégémonie du ciment.

Ici le rôle de la seconde infrastructure est essentiel. Ce n'est pas un hasard si le Laboratoire d'Étude du Sol imite les laboratoires d'essais des matériaux (de l'École des Ponts et Chaussées, de la Ville de Paris, du Conservatoire Arts et Métiers ou du Génie Militaire) qui ont soutenu le développement du ciment²⁷⁹. En janvier 1936, alors qu'il présente ce lieu à une délégation d'ingénieurs de l'association *PCM* et au ministre des Travaux Publics²⁸⁰, Caquot explique l'essence de la mécanique des sols en distinguant deux sols de fondations : les roches, qui peuvent supporter des pressions très importantes (souvent 50 à 100 kg/cm², parfois beaucoup plus), et les sols compressibles. Les pressions habituelles dans les ouvrages fondés sur des sols incompressibles sont de 7-8 kg/cm², alors que des pressions de 500 g à 1 kg/cm² sont trop fortes en présence d'argile²⁸¹. C'est là un trait fondamental de la mécanique des sols, qui la distingue de la pédologie, de l'agrologie ou de la géologie : la représentation d'un sol selon une résistance²⁸². Sans surprise, Caquot et Kérisel, dans leur préface du *Traité de mécanique des*

274. Une abondante littérature post-dualiste vient rappeler que le béton n'est pas si prévisible, qu'il est rendu instable par les terrains où il s'applique, qu'il demande des relations de *care* pour rester solide, etc. Voir : Harvey, « Cementing Relations », *op. cit.* ; C. Simonetti et T. Ingold, « Ice and Concrete : Solid Fluids of Environmental Change », *Journal of Contemporary Archaeology* 5.1 (2018), p. 19-31.

275. L'évaluation des matériaux selon leur résistance est antérieure à l'apparition du béton, Rondelet l'estime pour différents bois (chêne, sapin), mais s'accroît sensiblement.

276. Le "pascal" (symbole Pa) est l'unité de pression définie par la 14^{ème} Conférence Générale des Poids et Mesures de 1971. C'est la contrainte qui, agissant sur une surface plane de 1 mètre carré, exerce sur cette aire une force totale de 1 newton (Pa=N/m²). Donc : 1 MPa = 10,2 kg/cm² = 1N/mm² = 10 bars. Dès 1961, la France l'adopte comme "unité de contrainte et de pression".

277. Debauve, *Tome troisième, op. cit.*, p. 218.

278. Résistance des matériaux, au cisaillement, à la traction, à la compression, etc.

279. Les laboratoires d'étude du sol sont décrits comme l'équivalent, en matière de travaux publics et de fondations, des laboratoires d'essais de matériaux pour le béton armé et des bureaux de calculs pour la charpente métallique (*L'Entreprise française*, nov. 1935, p. 55). Voir : *Le Ciment* (déc. 1935) ; Leduc, *op. cit.*, p. 64-65.

280. Plus de 120 personnes y participent dont le Directeur des Ports Maritimes et Voies Navigables, le Directeur de l'ENPC, le Directeur de la Compagnie Nationale du Rhône, plusieurs Inspecteurs Généraux des Ponts et Chaussées, l'Inspecteur Général de l'Enseignement Technique, etc.

281. *Annales ITBTP* (jan.-fév. 1936).

282. L. Gachon, « Un siècle d'histoire des sols de France : dégradation et réfection », *Revue de géographie jointe au Bulletin de la Société de géographie de Lyon et de la région lyonnaise* 25.2 (1950), p. 81-89 ; J.

sols, la présente comme “un chapitre de la résistance des matériaux, spécialement applicable aux matériaux constitutifs de l'écorce terrestre que l'on trouve dans les zones où l'Ingénieur et l'Architecte sont amenés à construire des ouvrages de génie civil ou des bâtiments.” Cette science n'est, selon eux, qu'une application “des lois de la mécanique et de l'hydraulique aux problèmes qui se posent à propos de l'étude des sols de fondation²⁸³”. Que ce soit pour l'étude des instabilités des talus, des remblais ou des fondations, les résistances des terres et des sols sont au cœur de toutes les recherches²⁸⁴. Jusqu'au début du XXe siècle, les instruments manquent pour juger de la résistance de la terre compacte et l'écrasement : d'où l'importance de la mise en place des essais (CBR et Proctor) au début des années 1930, alors qu'il n'existe pas de définition précise de la résistance des sols argileux²⁸⁵.

Vu sous cet angle, donc sur l'échelle unidimensionnelle des résistances, le traitement chimique est un remède miraculeux : la stabilisation au ciment transforme un sol initial plus ou moins plastique en matériau semi-rigide²⁸⁶. Au début des années 1950, les inquiétudes des ingénieurs sur le poids des avions, les pressions des pneus, et le trafic aérien, se traduisent en résistance²⁸⁷. La diffusion de la stabilisation chimique accompagne l'accroissement des exigences des nouvelles infrastructures. L'exigence d'un sol résistant et non compressible est bouleversée par l'évolution exponentielle des charges depuis 1945. Après avoir classé les plateformes de chaussée et les arases de terrassement selon la portance – un classement déjà révélateur puisqu'une nouvelle classe a été introduite en 2000²⁸⁸ – les recommandations et normes ont imposé des niveaux minima pour les constructions²⁸⁹. Selon l'infrastructure à produire, une certaine classe de plateforme est requise par les recommandations²⁹⁰.

Ici aussi le parallèle avec le ciment est éclairant. La résistance à la compression, *via* les essais normalisés des laboratoires (celui de l'Union Technique du Bâtiment, de la Ville de

Boulaine, « V. V. Dokouchaev et les débuts de la pédologie. », *Revue d'histoire des sciences* 36.3 (1983), p. 285-306.

283. J. Kérisel et A. Caquot, *Traité de mécanique des sols*, 2ème édition, Paris, Gauthier-Villars, 1949.

284. La stabilisation mécanique et le compactage ont déjà pour fonction d'augmenter la résistance des sols au XIXe. Lorsqu'elle est bien à l'abri des dégradations, la terre vierge peut faire porter des ouvrages d'art et des ponts importants : Debauve, *Tome deuxième, op. cit.*, p. 23-25.

285. “C'est une opinion généralement admise par les constructeurs que la résistance des sols argileux aux charges verticales n'est pas susceptible de définition précise. Il est difficile d'interpréter et de coordonner les résultats de nombreux essais théoriques ou pratiques faits à ce sujet par divers expérimentateurs.” (*Le Génie Civil*, déc. 1933, p. 637).

286. Avec une résistance à la compression simple à 7 jours comprise entre 12,5 et 25 kg/cm² (*Annales ITBTP*, série TP, déc. 1958, p. 1359).

287. Entre la Libération et le début des années 1950, il est question de 5 à 10 kg/cm² (*RGRA*, jan. 1947; *Annales ITBTP*, série SF, oct. 1954, p. 996). Un traitement chimique d'un sol sur lequel une stabilisation mécanique a échoué offre des résistances à la compression à 14 jours de 14 à 16 kg/cm² (*Annales ITBTP*, série TP, jan. 1962).

288. Quatre classes de portance notées sont fixées avec comme limites basses 20, 50, 120 et 200 MPa. Les trois premières correspondent à celles du Catalogue 1977 des structures neuves de chaussées du réseau national; la classe PF4 supérieure à 200 MPa est introduite du fait des caractéristiques qu'il est maintenant possible d'atteindre avec certains matériaux traités aux liants hydrauliques : SETRA et LCPC, *Assises de chaussées. Guide d'application des normes pour le réseau routier national*, décembre 1998, p. 13.

289. Par exemple le Catalogue des chaussées de 1977 impose des caractéristiques minimales à la plateforme : SETRA et LCPC, *Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves*, décembre 1977.

290. Ainsi, la classe PF1 (20 à 50 MPa) est jugée médiocre pour être utilisée sur le réseau routier national; les autoroutes réclament PF4. Pour la piste 3 à l'aéroport de Roissy, la portance souhaitée pour l'arase de terrassement est de 35 MPa et de 55 MPa pour la couche de forme (*Terrassements & carrières*, 1999).

Paris ou des Ponts et Chaussées), contribue déjà à consacrer la chaux hydraulique puis le ciment²⁹¹ au XIXe siècle²⁹². Alors que la résistance des anciens mortiers ne dépassait pas les 30 kg/cm², la chaux hydraulique artificielle, puis certains ciments Portland artificiels, présentent une résistance de plus de 150 kg/cm² à 28 jours²⁹³. L'amélioration tient aussi à la rapidité des prises : les mêmes résistances finales des bétons sont atteintes en 1930 en une semaine contre trois mois en 1900²⁹⁴. Pourtant, si le béton révèle très vite ses qualités en compression, on constate que ses caractéristiques en traction sont très médiocres, ce qui limite son essor²⁹⁵. C'est en armant le béton que la résistance à la traction augmente sensiblement et que le bâti peut croître verticalement. La rupture à la traction du béton européen passe de 15 à 250 kg/cm² entre 1924 et 1940²⁹⁶. Comme les plateformes, les classifications de béton sont établies en fonction de limites exprimées en kg/cm² qui évolueront au cours du temps²⁹⁷. Début des années 1960, la résistance à la compression, couramment exigée est comprise entre 160 et 400 kg/cm² – et davantage pour les matériaux soumis à la précontrainte²⁹⁸. L'hégémonie de la résistance, qui marque la fin du lien entre géologie et qualité, transparait dans les appellations des liants hydrauliques, devenues des normes, validées en laboratoire, caractérisées par un chiffre qui résume la résistance : dans les descriptions des chantiers, on passe de la “chaux de Senonches” au XIXe au “ciment CPA 400” pour Ciment Portland Artificiel de résistance 400 kg/cm².

Cet aspect revient dans les débats contemporains. Avec la percée institutionnelle de la terre crue ces dernières années, des luttes internes ont émergé dans quelques laboratoires. Le témoignage qui suit, tiré de la thèse de Victor Villain, d'un chercheur de l'institut qui succède au LCPC²⁹⁹, résume quelques aspects de notre propos :

“Il y a un truc qui m'embête avec la performance, c'est qu'on a la culture du Superman. La culture du Superman, c'est la culture années 60-70's qui perdure encore aujourd'hui (...) à chaque fois que tu prends un chercheur, que tu le mets dans un laboratoire et que tu lui demandes de concevoir un matériau de construction, ce qui va l'intéresser, c'est de chercher celui qui tient et qui est le plus résistant. Il va chercher Superman. Sauf qu'on n'a pas toujours besoin de Superman. (...) Donc du coup, pour faire un logement de rez-de-chaussée plus un étage, un bâtiment qui tient à 0,5 méga pascal (MPa), c'est bien assez suffisant.

291. A l'origine, le ciment n'offre pas une résistance satisfaisante. Vicat conclut son Mémoire en insistant sur le fait qu'il est impossible de “composer avec de la chaux, des pouzzolanes et du sable, des pierres factices aussi dures que des cailloux” : Vicat, *op. cit.*, p. 97.

292. Guillaume, « Techniques et matériaux de construction », *op. cit.*, p. 171.

293. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 164; T. Schenk, « Le béton armé en France, 1889 - 1914. Expression architecturale d'un nouveau système technologique de construction », Mémoire de maîtrise en histoire de l'art, Université de Laval, 2007, p. 31-32.

294. La rapidité du durcissement est une des causes de la baisse de la production de chaux hydraulique au détriment des ciments pourtant plus chers : *Le Génie Civil* (nov. 1930, p. 200); *Revue des matériaux* (nov.-déc. 1955); Blanchard, « L'industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *op. cit.*

295. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 157-175; A. Desdevises, « Le ciment, matériau de construction. Histoire et développement », *Culture Technique* 26 (1992), p. 51-57.

296. Guillaume, « Techniques et matériaux de construction », *op. cit.*, p. 171.

297. L. Pliskin, « Le béton », *Culture Technique* 26 (1992), p. 58-64.

298. Les bétons courant ont aujourd'hui une résistance à la compression de l'ordre de 200 à 500 kg/cm², et les bétons “haute performance” peuvent aller jusque 1 000 kg/cm².

299. L'Institut français des sciences et technologies, des transports, de l'aménagement et des réseaux.

Ça n'a aucun intérêt d'aller chercher du 15 MPa. On dépense beaucoup d'énergie, on dépense beaucoup de temps (...) à essayer de faire des matériaux qui sont super résistants, alors que la démarche qui me semble la plus pertinente, c'est de dire : on a un matériau, on peut essayer d'optimiser sa préparation (...) C'est comment faire à partir de ce matériau brut pour le valoriser au mieux mais sans non plus aller foutre 10 % de ciment, des fibres synthétiques, malaxer pendant des heures, faire de la terre coulée, des trucs comme ça. (...) Donc voilà, moi, c'est un truc qui m'énerve. Cette histoire de Superman là, super matériau là, ça m'agace en fait³⁰⁰.”

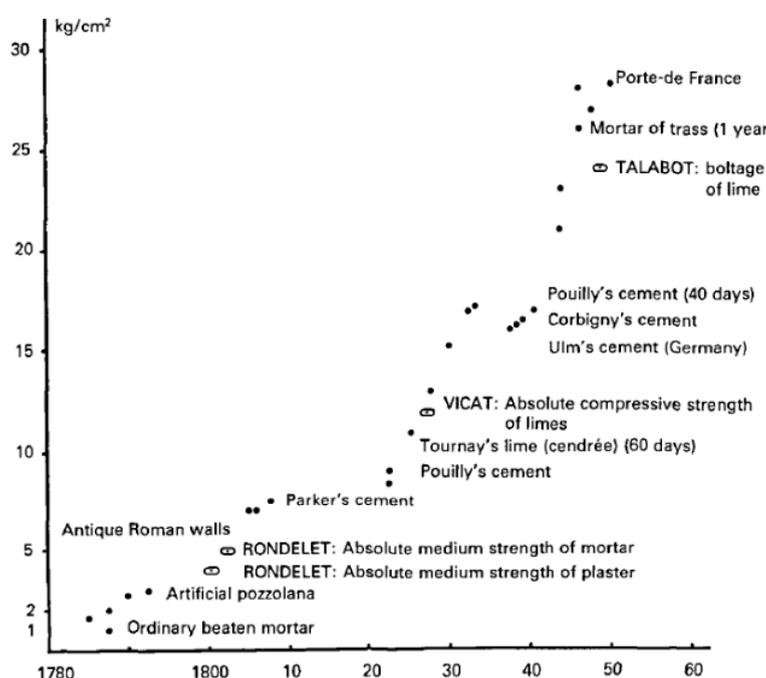


FIGURE 6 Compressive strength of material: between 1800 and 1850, the absolute compressive strength of mortar tenfolds.

FIGURE 3.11 – Résistance à la compression des mortiers entre 1780 et 1860³⁰¹.

3.4.4 Concentré de pouvoirs

Les pouvoirs du ciment lui viennent des puissantes forces sociales (scientifique, économique, militaire) qui le développent depuis deux siècles, au vu des qualités susmentionnées, en suivant leurs intérêts. Le développement effectif du ciment jusqu'à la fin du XIXe siècle, au-delà de quelques expériences sans cesse répétées³⁰², est redevable des travaux publics, et

300. Villain, *op. cit.*, p. 362.

301. Guillerme, « From lime to cement », *op. cit.*, p. 79.

302. Par exemple la barque en béton armé présentée par Joseph Lambot à l'occasion de l'Exposition universelle de Paris en 1855 – où elle passe inaperçue – ou une caisse horticole en béton armé par Monier en 1867 : CIMbéton, *Histoire du béton : naissance et développement, de 1818 à nos jours*, Cahier des modules de conférence pour les écoles d'architecture B90A, 2009.

non du bâtiment : canaux³⁰³, écluses, ports (Toulon et Marseille dans les années 1830), viaducs³⁰⁴, tunnels et ponts sont les principaux consommateurs de chaux hydraulique artificielle et de ciment³⁰⁵. On comprend l'intérêt de l'État : d'après un bilan établi par Arago³⁰⁶, celui-ci réalise des économies immenses dès les premières années qui suivent le Mémoire de 1818³⁰⁷. Une étatisation par la norme technique, perceptible dans la constitution de la seconde infrastructure (en particulier les laboratoires publics et privés), est entamée à partir du milieu des années 1880³⁰⁸. En 1885, à la demande des cimentiers du Boulonnais, l'Administration des Travaux Publics, en lien étroit avec celle des Ponts et Chaussées, édicte le premier cahier des charges national des ciments Portland destinés aux ports de Calais et Boulogne.

La consommation, cantonnée aux travaux publics, reste relativement modeste³⁰⁹ jusqu'à la mise au point du béton armé, sanctionné par le brevet de l'entrepreneur belge Hennebique en 1892³¹⁰, qui ouvre l'univers du bâtiment, où le secteur privé est bien plus actif que dans les travaux publics, au ciment. La période charnière est certainement celle qui va du milieu des années 1880 à 1914, quand le béton armé est institutionnalisé par une reconnaissance académique³¹¹, scientifique, étatique et économique³¹². La composition de la "Commission Ciment armé", instituée en 1901 par le Ministère des Travaux Publics en vue d'étudier les propriétés mécaniques du nouveau matériau et d'élaborer des règlements pour le calcul et l'exécution des ouvrages dépendant du ministère, donne une idée des pouvoirs du béton armé : cinq ingénieurs des Ponts et Chaussées (dont le professeur du cours à l'ENPC), deux entrepreneurs influents (dont Hennebique lui-même), un industriel du ciment, deux architectes

303. Dès 1864, l'entreprise *Lafarge* du Teil, dont la première usine date de 1830, livre 110 kt de chaux hydraulique à la Compagnie universelle du canal de Suez (pour la construction des jetées de Port-Saïd). Dans les années 1880, ses usines expédient des chaux et des ciments dans toute l'Europe : Debauve, *Tome troisième, op. cit.* ; D. Barjot, « Lafarge : l'ascension d'une multinationale à la française (1833-2005) », *Relations internationales* 124.4 (2005), p. 51-67.

304. Les fondations du viaduc de Tarascon ont exigé l'emploi de 20 000 m³ de béton, qui ont été fabriqués exclusivement avec de la chaux hydraulique, très réputée, du Teil : Debauve, *Tome deuxième, op. cit.*, p. 236.

305. *Idem*, *Tome deuxième, op. cit.* ; *idem*, *Tome troisième, op. cit.*

306. Presque autant que le budget voté par la Monarchie de Juillet pour les travaux publics extraordinaires : Merceron-Vicat, *op. cit.*, p. 223.

307. Vicat lui-même calcule, dans sa fameuse publication de 1818, le coût de la fabrication d'un mètre cube de chaux hydraulique afin de montrer l'intérêt économique de sa découverte.

308. En 1884, le Ministère des Travaux Publics ouvre des laboratoires (à Paris, Marseille et Boulogne), dirigés par des ingénieurs des Ponts, pour tester le ciment et homogénéiser sa qualité. Les ingénieurs du laboratoire de l'École des Ponts et Chaussées, regroupés dans une Commission des chaux, ciments et mortiers, sont chargés de centraliser tous les renseignements sur les questions se rattachant à ces matériaux. Suite au Congrès International des Matériaux de Construction qui se tient à Paris en 1889, une autre commission est instituée au Ministère en vue de l'unification des méthodes d'essai des matériaux de construction (*Annales PC*, 1931, p. 100). Une Association internationale pour l'Essai des Matériaux est créée en 1895.

309. Moins de 3 Mt tous liants hydrauliques confondus en 1900 (*Revue des matériaux*, nov.-déc. 1955).

310. Comme pour Vicat et le ciment, le titre "d'inventeur" est contesté. Son brevet concerne une simple languette en fer, "l'étrier", dont il explicite le placement juste : Gras, *op. cit.*, p. 47.

311. Le cours de Rabut à l'ENPC, à partir de l'année 1897-1898, contribue à la fabrication d'un savoir spécifique sur le matériau (*Annales PC*, n°72, 1994).

312. Des centaines de brevets relatifs au béton armé sont déposés en France entre 1890 et 1906. Hennebique aurait divisé les coûts de fabrication par cinq comparé aux maçons. Le béton armé permet des économies de 25 à 40 % par rapport au fer ou à la pierre pour la construction d'usines à la fin du XIXe siècle. Voir : Guillerme, *Bâtir la ville, op. cit.* ; G. Delhumeau, *L'invention du béton armé : Hennebique, 1890-1914*, Essais, Paris, Norma, 1999 ; Schenk, *op. cit.*

et deux officiers du Génie. Les *Instructions ministérielles relatives à l'emploi du béton armé*, qu'elle publie en 1906, instaurent une procédure de certification généralisée qui sera la norme jusqu'en 1934³¹³. D'autres acteurs et revues servent à révéler l'imbrication des champs³¹⁴. La revue *Le béton armé*, tirée à 10 000 exemplaires, est lancée en 1898, deux ans après *Le Ciment*³¹⁵, par l'entreprise Hennebique, qui vient de créer le Congrès annuel sur le béton armé en 1897. Son entreprise contribue notamment au développement mondial de ce matériau. Pour convaincre les architectes et les maîtres d'ouvrage, et on aperçoit ici encore la valeur que confère la résistance à un matériau, il réalise régulièrement des "essais de résistance" qui sont des mises en scène spectaculaires auxquelles sont conviées architectes, industriels et entrepreneurs³¹⁶. Autre revue, mensuelle, qui existe toujours : la *Revue des matériaux de construction et des travaux publics*, créée en 1905 par Margry et Leduc – ce dernier étant directeur depuis 1902 du Laboratoire d'Essais de Matériaux de Construction du Conservatoire national des arts et métiers, après avoir été directeur du Laboratoire d'Essais de Ciment du Génie Militaire de Boulogne. Après 1945, cette revue sera celle du Centre d'Études et de Recherches de l'Industrie des Liants Hydrauliques (CERILH) dont le président est l'ingénieur qui a assuré le cours de "Mécanique des sols" au Laboratoire d'Étude du sol (3.2.3) en 1937-1938³¹⁷ – laboratoire inauguré en présence du président de la République en 1935³¹⁸. La production d'espace à grande échelle est intimement liée aux laboratoires, garants des normes de résistance, donc de stabilité. Si l'imbrication des pouvoirs fluctue selon les périodes, le champ scientifique, et le laboratoire, joue un rôle remarquable depuis la rupture opérée par Vicat. Celle-ci témoigne de la nouvelle place que prennent les "savoirs savants" dans l'univers des liants hydrauliques à qui il revient de les qualifier objectivement, et de les légitimer, selon leur solidité. Le travail de définition et de hiérarchisation des valeurs réalisé par les pouvoirs, avec la résistance comme échelle principale, sert aussi leurs intérêts.

Au cœur de tous les pouvoirs (surtout scientifique et capitaliste), à la croisée de l'histoire du ciment, du taylorisme et de la chimie, se trouve Henry Le Chatelier. Ingénieur des Mines, chimiste spécialiste de la résistance des matériaux, c'est lui qui prouve la théorie sur la prise et le durcissement des ciments grâce à des expériences réalisées au microscope (1887). Dans la foulée, il fonde et développe le laboratoire central de l'entreprise *Lafarge* au Teil avant de s'intéresser à la sidérurgie. Sa *Revue de Métallurgie*, créée en 1904, sert explicitement de modèle à la *Revue des matériaux de construction*, dans laquelle il publie dès 1907. Au sommet de la gloire scientifique, professeur au Collège de France et à la Sorbonne, membre de l'Académie des Sciences, il dépense ses gains symboliques en faveur des projets libéraux, in-

313. Voir : *Le Ciment* (nov. 1906) ; *Annales PC* (1931, p. 92) ; *Revue des matériaux* (nov.-déc. 1955).

314. Au-delà du seul ciment, on peut citer : *Le Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment* (1903), revue hebdomadaire la plus lue et diffusée qui existe encore aujourd'hui, la *Revue Générale de la Construction* (1905), le *Bulletin de la Fédération nationale du bâtiment et des travaux publics* (1906).

315. Revue créée en 1896 par la Chambre syndicale des fabricants de ciment Portland en France pour faire connaître les applications du ciment auprès d'ingénieurs.

316. Hennebique pense immédiatement les applications et en déploie le potentiel économique à une échelle industrielle. Outre l'étrier, il introduit deux nouveautés décisives dans la diffusion internationale du béton armé – le bureau d'étude et la publicité *via* sa revue : Delhumeau, *op. cit.*, p. 54 ; Simonnet, *Le Béton, histoire d'un matériau*, *op. cit.*, p. 101.

317. *Revue des matériaux* (nov.-déc. 1955).

318. Plus exactement, les laboratoires du BTP, auquel il appartient, sont inaugurés en présence du président de la République, de Caquot, du président de la FNBTP (*L'Entreprise française*, nov. 1935).

dustrialistes et productivistes. Il dirige la Société d'encouragement pour l'industrie nationale, sempiternellement hostile aux syndicats, et contribue à la diffusion du taylorisme en France. Non seulement il préface la version française du livre majeur de Taylor, paru en français en 1912, mais il écrit lui-même un livre intitulé *Taylorisme* en 1928³¹⁹. Le congrès international de l'organisation scientifique du travail de Paris, en 1929, le consacre. L'inauguration de cet important congrès (1 700 congressistes, 35 nations) se fait dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne, en présence du Président de la République, sous la présidence du ministre de l'Intérieur, dont le discours révèle tout l'intérêt que le Gouvernement attache à ce mouvement. Lors de la séance de clôture, présidée par le ministre du Travail, la médaille d'or du Comité international d'Organisation scientifique du Travail est remise à Henry Le Chatelier³²⁰. D'autres célébrations de ce type, avec autant de pouvoirs politiques, scientifiques et économiques, et autant de charges symboliques, réuniront les différents champs : en 1953 pour le centenaire du béton armé³²¹ ou en 1961 pour le centenaire de la mort de Vicat³²².

Les premiers intéressés par la diffusion du ciment sont évidemment les producteurs. Le développement de la stabilisation des sols au ciment est par exemple encouragé, à une époque où elle reste embryonnaire dans ses applications. En 1955, lors du cinquantenaire de la *Revue des Matériaux*, le président du patronat des ciment et chaux hydrauliques insiste explicitement sur le besoin d'élargir les emplois des liants hydrauliques, déjà omniprésents dans les bâtiments et les grands ouvrages de génie civil, en trouvant des débouchés dans les routes qui supportent le trafic lourd ou une circulation intense³²³. Sur la longue durée, l'univers des producteurs a connu une mutation similaire à celle des terrassiers : une concentration extrême de la production du fait du capital fixe que représentent les fours³²⁴. Alors que des milliers de petits fours à chaux produisent des liants partout en France au XIXe siècle, la normalisation du ciment, c'est-à-dire les exigences à satisfaire en termes de résistance et homogénéisation, conduit à le transformer en marchandise qui ne peut être produite que de façon industrielle. La hausse de la demande, le fait que l'industrie soit à rendements croissants, c'est-à-dire que les grosses cimenteries sont plus rentables que les petites, et les mécanismes de la concurrence poussent les capitalistes à investir dans des fours toujours plus grands pour faire baisser leur

319. Sur sa pensée technocratique, lire l'admirable article : O. Henry, « Henry Le Chatelier et le taylorisme », *Actes de la Recherche en Sciences Sociales* 133.1 (2000), p. 79-88.

320. *Le Génie Civil* (nov. 1930, p. 15).

321. La naissance est ici, *de facto*, attribuée à une œuvre précise, la barque imputrescible, de Lambot. Les commémorations se tiennent en présence de plusieurs ministres (dont Claudius Petit), la noblesse d'État, le gratin des ingénieurs (Caquot, Freyssinet, Perret, Boutet), au théâtre des Champs-Élysées, avec banquet au Georges V (*Annales ITBTP*, série BBA, déc. 1949 ; *Travaux*, jan. 1950).

322. La commémoration se déroule dans le grand amphithéâtre de la Sorbonne sous la présidence d'honneur du Premier Ministre, en présence de nombreux ministres (y compris Travaux Publics, de l'Éducation Nationale, de l'Industrie, de l'Agriculture, etc.), d'ingénieurs réputés (Caquot, Duriez, Lafuma), etc.

323. "c'est vers la route – spécialement vers les chaussées à circulation intense et à trafic lourd dont les autoroutes et les déviations urbaines sont le type (...) que s'oriente présentement l'effort de diffusion des fabricants" (*Revue des matériaux*, nov.-déc. 1955, p. 13).

324. Le besoin d'un four marque une grosse différence avec le matériau de construction qu'est la terre crue qui ne nécessite aucune combustion pour être utilisée – elle se met en œuvre le plus souvent sans aucune transformation, selon la technique qui convient à sa composition locale. Le coût d'une usine de ciment avoisine deux à quatre années de chiffres d'affaires. La durée d'amortissement des usines dépasse 20 ans : Pipame, *Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance 2030*, Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques, 2016, p. 111.

coût de revient³²⁵. Ceci explique pourquoi la “libération de la géologie” (3.4.1) n’a finalement pas conduit à une géographie plus uniforme de la production de ciment. Des centaines de petites unités, jouxtant les carrières de matières premières, il ne reste aujourd’hui que cinq groupes et 41 usines en France³²⁶. Si la production d’espace est ordinaire du point de vue de la contribution des granulats (chap. 1), elle est capturée par des grands groupes capitalistes au niveau de sa rigidité³²⁷.

3.5 Les génies et le désencastrement

“Grâce à des techniques innovantes, il est désormais possible de construire sur tous types de sols. Du simple ouvrage à la prouesse architecturale, le savoir-faire des ingénieurs est mobilisé pour analyser, étudier, renforcer et consolider les sols. Le géotechnicien sonde et détermine les caractéristiques des sols afin de concevoir, au sein de bureaux d’études, les fondations des ouvrages. (...) Certains types de sol, jusque-là délaissés, car présentant des caractéristiques mécaniques faibles, doivent être renforcés pour assurer la stabilité des édifices et des infrastructures de génie civil qu’ils sont appelés à porter. Peu visibles pour le profane car enfouies dans le sol, les techniques de renforcement sont très largement répandues et nous entourent au quotidien³²⁸.”

La production d’espace capitaliste est intrinsèquement instable. Dans le temps long, les exigences de stabilité s’accroissent, en écho aux exigences sociales d’implanter des infrastructures sur tous les terrains, et s’étendent des reliefs aux milieux, sols et fondations. Ce chapitre a mis en évidence l’évolution des géo-savoirs et géo-techniques – qui s’appuient sur un corpus constitué en France par les ingénieurs du Génie et des Ponts depuis la fin du XVIIIe siècle –, ainsi que le rôle de la seconde infrastructure (ici représentée par quelques laboratoires), qui ont été indispensables à la stabilisation de la pratique spatiale depuis 1945.

Comme pour les terrassements, une rupture nette est observable lors de la Grande Accélération – symbolisée par l’apparition croissante du ciment dans le métabolisme des grandes infrastructures. Sans doute parce que la gestion des instabilités a une dynamique cumulative,

325. De vertical pour la chaux, le four devient horizontal pour le ciment. Le nombre de fours rotatifs de 40 à 60 m passe de 2 en 1900 à 51 en 1930. Un four rotatif de 35 m de long et de 2 m de diamètre produit 35-40 t/jour en 1900 alors qu’un four de 165 m de long et de 4 m de diamètre produit 1 200 à 1 500 t/jour cinquante ans plus tard (*Revue des matériaux*, nov.-déc. 1955, p. 25). Cet investissement dans le capital fixe explique en partie la hausse de la production annuelle par personne de 0,3 kt en 1928 à 0,75 kt en 1954 et 4,5 kt en 2008. Voir : Blanchard, « L’industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *op. cit.*, p. 330 ; *Revue des matériaux* (nov.-déc. 1955, p. 33) ; Pipame, *op. cit.*, p. 107.

326. Blanchard examine 128 usines de chaux et ciment dans le Sud-Est en 1928 ; il existe 32 sociétés et 60 usines de ciment en 1954 ; 37 entreprises en 1961 et 18 en 1971 (dont un triopole produit 87 % du total) ; 5 groupes et 41 sites en 2017. Voir : *Revue des matériaux* (nov.-déc. 1955) ; Blanchard, « L’industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *op. cit.* ; F. Mader, « Un exemple de restructuration industrielle : l’oligopole du ciment en France entre 1962 et 1972 », *Revue d’économie industrielle* 4.1 (1978), p. 96-116 ; Simonnet, « Le béton à l’âge du faire », *op. cit.* ; Infociments, *L’essentiel 2018*, 2018, p. 95.

327. En 2010, les six premiers acteurs mondiaux (dont Lafarge - Holcim) représentaient ainsi environ 20 % de la production mondiale.

328. Tiré de : P. Villard et L. Briançon, *Le renforcement des sols : des techniques devenues indispensables*, dans : *Encyclopédie de l’Environnement [en ligne]*, 2022, <http://www.encyclopedie-environnement.org/?p=4141>.

du fait de sa proximité avec le champ scientifique, nous ne pouvons distinguer des caractéristiques propres au Fordisme ou Néolibéralisme. La seconde infrastructure évolue toutefois avec la pratique spatiale de chaque régime, ce qui la conduit à développer continuellement de nouveaux savoirs et techniques. Il en va ainsi des problèmes spécifiques aux aéroports et autoroutes entre les années 1930 et 1960 qui engendrent la technique de stabilisation des sols. Depuis les années 1970, et les constructions de bâtiments de grandes dimensions, et en particulier de grandes tours (La Défense, Tour Montparnasse), les fondations profondes (ou “spéciales”) accaparent les débats³²⁹. Comme d’autres techniques, celles-ci utilisent souvent du ciment³³⁰ et viennent permettre une implantation sur un sol auparavant inutilisable³³¹. De nouvelles recherches géologiques et techniques sont imposées par les gratte-ciels³³² et les travaux souterrains – comme les tunnels et parkings (plusieurs niveaux en sous-sol des immeubles). Une étude récente estime que la quantité de granulats incorporée dans les fondations des immeubles varie de 5 à 10 % du poids de son béton. A l’échelle mondiale, la quantité de matières pour les “fondations cachées”, nécessaires au bâti, est donc non-négligeable³³³. Le ciment s’est rendu indispensable, et à travers lui une poignée de multinationales qui contrôlent la solidité d’une large part du stock mondial de matières, parce que la pratique spatiale exige d’implanter de pesantes infrastructures sur tous les sols imaginables. Il contribue simultanément à produire un bâti (en béton de ciment), et un nouveau sol pour accueillir ce bâti – en ce sens, il sert verticalement la production d’espace. Au-delà de ses dégâts bien connus (eau et CO₂³³⁴), sa participation à la construction de sous-sols rigides fait de lui un moteur de l’artificialisation des sols – qui dépasse l’extension urbaine à laquelle on la réduit parfois³³⁵.

329. La revue *Chantiers de France* (comme *Travaux* depuis 1995) dédie chaque année, un numéro spécial qui présente la variété des techniques pour les “fondations spéciales”. Voir : *Chantiers de France* (1er trim. 1967, 1971, 1972, 1973) ; *Le Génie Civil* (nov. 1970, sept. 1973) ; *Travaux* (1967, 1970, 1972, 1973).

330. Par exemple : injection des sols avec un coulis à base de ciment, écrans étanches (structures enterrées destinées à empêcher ou détourner des écoulements souterrains) et parois moulées en béton armé, etc.

331. Ceci est explicite dans l’extrait suivant. “La tendance à l’urbanisation et à la construction d’immeubles de grande hauteur, la rénovation urbaine et la nécessité d’implanter fréquemment de bâtiments industriels en mauvais terrain, imposent de plus en plus souvent les fondations spéciales dont la technique a nettement évolué depuis une vingtaine d’années (...) la nécessité d’aménager des parkings souterrains sous les nouveaux immeubles impose des fondations profondes, qui atteignent assez souvent la nappe phréatique et posent ainsi des problèmes d’étanchéité et de rabattement de la nappe qui ne se posaient que rarement dans la construction des bâtiments traditionnels souvent fondés à quelques mètres de profondeur seulement.” (*Le Génie Civil*, juil.-août 1973, p. 81).

332. Le poids de la tour Burj Khalifa à Dubaï, 500 kt à vide, est supporté par 192 pieux (de 43 m de long, 1,5 m de diamètre) installés sous le building, à 50 m de profondeur, qui soutiennent une plate-forme en béton de 3,7 m d’épaisseur. Les ingénieurs ont prévu un degré d’enfoncement du gratte-ciel dans le sol estimé à 7,5 cm par an. C’est plus que les 1,5 cm d’affaissement annuel moyen de la ville de Shanghai, construite sur un terrain mou, qui s’enfonce sous le poids de ses 3 000 gratte-ciels. Malgré tous les efforts pour stabiliser et rigidifier les sols, le monde urbain s’enfonce. Littéralement.

333. Tanikawa et al., *op. cit.*

334. S. A. Miller, A. Horvath et P. J. M. Monteiro, « Impacts of booming concrete production on water resources worldwide », *Nature Sustainability* 1.1 (2018), p. 69-76.

335. L’artificialisation des sols correspond à une modification anthropique durable – et souvent irréversible – des sols qui sont soustraits à leur usage agricole / forestier ou à leur “état naturel”. Les surfaces artificialisées incluent les sols revêtus ou stabilisés à destination des infrastructures de transport. En 2006, la *Food and Agriculture Organization* intègre les sols fortement transformés par l’humain à son système de classification, en plus de tous les types de sols dits “naturels” qui y étaient décrits jusqu’alors. Cette nouvelle catégorie, dite “technosols”, décrit des sols radicalement modifiés par les activités humaines et comprend des environnements

Un parallèle peut être établi avec d'autres mutations similaires et aussi fondamentales pour le Fordisme. Dans la même période, un autre corpus de savoirs et techniques, qui prend aussi le sol et son amélioration pour objet, se développe dans le secteur agricole. Il y est également question de lever des contraintes en produisant les sols adéquats à l'industrialisation (via des intrants massifs, des pesticides et engrais chimiques). S'appuyant sur une conception restreinte de la fertilité du sol, certains agronomes (productivistes) tendent à le réduire à un simple substrat apte à absorber les nutriments nécessaires à la croissance des plantes cultivées³³⁶. De cette façon, la production agricole se retrouve partiellement, et fictivement, détachée du sol existant³³⁷. La transformation des pratiques agricoles se repère dans de nouveaux aménagements ruraux et dans la centralité de nouveaux groupes d'experts scientifiques et techniques³³⁸. De ce point de vue, la géotechnique serait l'équivalent pour la production d'espace du génie rural en agriculture. Un autre parallèle peut être établi avec le charbon : le ciment participe du désencastrement (fictif) de la pratique spatiale de ses coordonnées géologiques, morphologiques, climatiques comme le charbon libère (ou prétend libérer) des contraintes propres aux sources d'énergie de l'économie organique au XIXe siècle. Ces matières n'ont pas pour finalité de désencastrent (ou dé-saisonner) l'économie, et n'y parviennent jamais, mais y contribuent de fait (avec sans doute des effets sur les représentations qu'ont certains économistes du système économique³³⁹). Ainsi, notre enquête suggère que le développement et la légitimation du ciment et de la stabilisation chimique des sols par la seconde infrastructure s'expliquent par la satisfaction qu'apportent ces techniques de construction aux intérêts de groupes sociaux richement dotés en capitaux. Tous les deux répondent au souhait de rigidité et stabilité (des matériaux, sols et sous-sols), de production industrielle et de libération de la géologie. La réponse à l'ensemble de ces questions, qui en première analyse pourraient être perçues comme purement pratiques, conduit *in fine* à exiger un sol abstrait³⁴⁰.

comme les parkings ou les voies de chemins de fer. Voir : A. Lee et M.-F. Slak, « Les paysages français changent entre 1992 et 2002 : artificialisation et fermeture des paysages aux dépens du mitage ou de la déprise des zones agricoles », *Agreste cahiers* 3 (2007), p. 19-40 ; CGDD-SOeS, *Sols et environnement. Chiffres clés. Edition 2015*, 2015 ; INRA, *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action*, Rapport d'expertise scientifique collective, INRA, 2017 ; V. Antoni et M. Kraszewski, « L'état des sols en France : l'artificialisation et les autres sources de dégradation », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 91.3 (2018), p. 13-18 ; L. Vidal-Beaudet et J.-P. Rossignol, « Urban Soils : Artificialization and Management », dans : *Soils as a Key Component of the Critical Zone 5*, sous la dir. de C. Valentin, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Inc., 2018, p. 189-210.

336. V. Winiwarter, « Environmental History of Soils », dans : *The Basic Environmental History*, sous la dir. de M. Agnoletti et S. Neri Seneri, Environmental History, Cham, Springer International Publishing, 2014, p. 79-119.

337. Avec les machines et les apports d'engrais, les agriculteurs et les régions peuvent désormais se spécialiser (grandes cultures, élevage, arboriculture, viticulture, maraîchage) avec un certain détachement pour les sols.

338. J. Bouma et A. E. Hartemink, « Soil science and society in the Dutch context », *NJAS : Wageningen Journal of Life Sciences* 50.2 (2003), p. 133-140 ; C. Deverre, « Les nouveaux liens sociaux au territoire », *Natures Sciences Sociétés* 12.2 (2004), p. 172-178 ; A. Page, « Guerres et fertilisation : essor des engrais azotés en France et en Grande-Bretagne, 1918-1960 », dans : *Histoire des modernisations agricoles au XXe siècle*, sous la dir. de C. Bonneuil, L. Humbert et M. Lyautey, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2021, p. 39-52.

339. Pottier, *op. cit.*

340. Cet espace abstrait est proche de celui de Lefebvre, pour qui l'espace abstrait s'oppose à l'espace concret (historique) comme le temps de travail abstrait s'oppose au temps de travail concret nécessaire à la production

On perçoit ici comme les descriptions en termes d'assemblages hybrides sont problématiques en ce qu'elles négligent les questions de pouvoir. Le caractère solide d'un sol n'est pas le fruit d'actes performatifs³⁴¹, mais d'actes matériels qui répondent à une nécessité existentielle de stabilité de certains intérêts. Il n'y a pas de volonté moderne de détacher les sociétés du sol, ni de faire croire que le sol est une page blanche, mais des institutions et champs, bien identifiables, qui développent un ensemble de savoirs et techniques pour stabiliser leurs projets d'aménagement. Les génies (agricole et géotechnique) reconnaissent *in fine* le fait que le sol est un processus bien vivant³⁴². Il est d'ailleurs remarquable que, tant du point de vue de l'agriculture³⁴³ que de la production d'espace³⁴⁴, la reconnaissance du sol comme actant est parfaitement compatible avec des stratégies marchandes. Depuis peu, des groupes cimentiers font justement la promotion . . . de terre crue stabilisée au ciment³⁴⁵. Les récits postmodernes détournent l'attention des pouvoirs qui peuvent imposer un certain type de pratique spatiale qui surdétermine l'existence même des instabilités. Le chapitre suivant engage plus sérieusement ce travail en décryptant, à partir d'une rupture des fondations, comment des infrastructures ont du s'adapter aux transformations du Fordisme.

de marchandise : L. Gaudreau, « Espace, temps et théorie du capital chez Henri Lefebvre et Marx », *Cahiers de recherche sociologique* 55 (2013), p. 155-176.

341. Comme le prétend Meulemans, qui sous-entend que c'est là un effet de la "pensée moderne" qui refuserait de le concevoir comme solide et fluide : Meulemans, « Fonder les villes », *op. cit.*

342. Un consensus qui remonte au moins à l'essor de la microbiologie agricole à la fin du XIXe siècle : N. Jas, « "L'agriculture est une science chimique !" Eléments pour une histoire comparée des sciences agronomiques allemandes et françaises de ta seconde moitié du dix-neuvième siècle », Thèse de doctorat en histoire, Institut Universitaire Européen, 1997.

343. La vie des sols est parfois envisagée comme un nouveau capital, en lien avec des perspectives d'optimisation des services agricoles ou climatiques rendus. Certaines propositions récentes veulent l'améliorer précisément en partant de ses caractéristiques microbiennes. Développer des savoirs sur les sols vivants n'est donc pas incompatible avec l'agriculture agro-industrielle : C. Pessis, « Histoire des « sols vivants » », *Revue d'anthropologie des connaissances* 14.4 (2020).

344. L'engouement récent pour la terre crue, comme alternative au béton, fournit un autre exemple de l'importance des rapports de pouvoir à l'analyse, puisqu'il est accompagné par les stratégies usuelles de *greenwashing* des cimentiers : H. Gasnier, « Construire en terres d'excavation, un enjeu pour la ville durable », Thèse de doctorat en SHPT / Architecture, Université Grenoble Alpes, 2019 ; Villain, *op. cit.* ; Loiret, *op. cit.* ; A. Poste, « Le retour à la terre des bétonneurs », *Terrestres. Revue des livres, des idées et des écologies* 17 (2020).

345. Des architectes ajoutent jusqu'à 15 % de ciment à la terre. "Aujourd'hui, le danger s'appelle stabilisation, qui modifie l'une des plus belles qualités de la terre : sa recyclabilité naturelle. Dans son usage contemporain, la terre crue est souvent stabilisée avec de la chaux et du ciment, par méconnaissance des qualités du matériau, par peur de solutions non-polluantes (. . .) ou pour s'adapter à une législation pensée pour d'autres matériaux" : A. Wilson, « La terre est dans le grain », *Tracés* 17 (2016).

Chapitre 4

Entretien, extension et verrou du capital

La production d'espace s'appuie sur un espace déjà produit. Souvent, elle vient simplement reproduire l'espace par des opérations d'entretien et maintenance. Parfois, il y a production de nouveaux espaces par extension, agrandissement et approfondissement des anciens. Nous étudions une telle rupture avec le réseau routier pris dans la pratique spatiale du Fordisme.

4.1 Maintenance et extension des espaces produits

La production d'espace exige d'étudier la dynamique des espaces déjà produits (les "anciens stocks" dans la figure 3). Certains flux l'illustrent : alors qu'il ne se construit presque plus de nouvelles routes en France, à quoi servent les 100 Mt/an de granulats destinés aux routes, dont 35 Mt pour les seules couches de roulement¹ ? A l'entretien et la maintenance du réseau. Autrement dit, dans les termes de cette thèse : au-delà de la production, il y a une permanente reproduction et extension d'espace. Au cœur des dynamiques se trouvent les réseaux routiers, tant dans les pays du Nord que du Sud Global². L'entretien et la maintenance exigent quatre fois plus de matières que la construction de nouvelles routes pour l'UE³. Le cas étatsunien nous révèle que, outre la longueur du réseau, c'est surtout le contenu de matière par kilomètre de chaussée qui a drastiquement augmenté (multiplié par 13 depuis 1905). Face à l'explosion du nombre de véhicules motorisés, le réseau s'épaissit bien plus qu'il ne s'allonge⁴. S'ils en fournissent une description sommaire, et une causalité mécanique (plus de véhicules, plus de poids), soutenue par un récit de l'adaptation permanente des routes,

1. Le réseau routier pèserait au moins 3 Gt (voir annexes).

2. Le réseau routier pèse 15 Gt aux États-Unis en 2015, soit environ 15 % du total des stocks : Miatto et al., *op. cit.* ; Streeck et al., « The role of socio-economic material stocks for natural resource use in the United States of America from 1870 to 2100 », *op. cit.* ; au Japon, il aurait été multiplié par six entre 1965 et 2010 – il pèserait entre 3,7 et 5,5 Gt contre 7,6 à 9,4 Gt pour l'ensemble des bâtiments : Tanikawa et al., *op. cit.* ; au Vietnam, le poids des routes a augmenté de 1,3 Gt à 2,6 Gt entre 2003 et 2012 (environ 40 % de la consommation nationale de matériaux de construction est destinée à l'expansion et à l'entretien du réseau routier) : T. C. Nguyen et al., « Estimating the Material Stock of Roads : The Vietnamese Case Study », *Journal of Industrial Ecology* 23.3 (2019), p. 663-673.

3. Le poids total est de 39 Gt pour l'UE des 25 en 2009, où elles sont plus pondéreuses que l'ensemble des bâtiments : Wiedenhofer et al., « Maintenance and Expansion », *op. cit.*

4. Miatto et al., *op. cit.*

ces articles tendent à naturaliser ces faits puisqu'ils n'expliquent pas comment s'opère cette hausse du stock, ni le rôle de la maintenance. Ce chapitre propose d'expliquer ce fait social en examinant l'évolution du réseau routier national en France, qui entre en crise au début des années 1960.

4.1.1 Dans la nuit

Dans la nuit du 2 au 3 janvier 1963, 300 véhicules sont bloqués par la neige et le verglas sur la route nationale 6, au lieu-dit La Rochepot, dans le Morvan. Pour les politiques routières, et leurs effets dans le temps long, cet événement est le plus important depuis le (récent) lancement du programme autoroutier – il n'existe alors que 242 km d'autoroutes en service en France, principalement des tronçons d'autoroutes de dégagement autour de Paris, Lille et Lyon. Le lendemain, le DR⁵ décide d'autoriser l'utilisation de sel pour rétablir la circulation malgré ses craintes pour la corrosion des véhicules et les risques d'aggravation de l'état du réseau⁶. Le 5 janvier, *Le Monde* dédie un premier article sur le sujet : “Près de 400 millions de francs seront dépensés pour l'entretien et la modernisation du réseau routier”. Les semaines suivantes, les chroniqueurs déplorent infatigablement les dégâts du gel malgré les barrières de dégel qui sont annuellement installées pour limiter la circulation des véhicules lourds pendant les périodes hivernales. Ingénieurs et administrations décrivent ces barrières qui “isolent des zones entières” du pays pendant des semaines chaque année (*Le Monde*, 30 janvier 1963). De janvier à mars, périodes de gel et dégel se succèdent. Le 9 mars, *Le Monde* publie un article sur la circulation interrompue des poids lourds entre Paris et Lyon sur les RN 6 et 7. On y lit qu'un millier de camions sont immobilisés au sud de Mâcon. Dans le même journal, le même jour, on découvre un communiqué la Fédération nationale des transports routiers (FNTR) :

“Après quarante-trois jours de pose de barrières de dégel, qui leur ont imposé des immobilisations et des détournements d'itinéraires, générateurs de dépenses supplémentaires considérables, les transporteurs doivent aujourd'hui renoncer, par suite de l'effondrement de certaines chaussées, à toute circulation avec des véhicules moyens et lourds sur les routes nationales 5 et 6 dans la traversée de l'Yonne. Ainsi se trouvent interrompus provisoirement des courants de trafic routier entre la région parisienne et la région lyonnaise et les grands centres situés sur le parcours. À l'occasion de cet arrêt d'activité indépendant de leur volonté et dont ils s'excusent auprès des usagers, les transporteurs publics routiers dénoncent avec la dernière vigueur l'incohérence de la politique routière suivie par notre pays depuis de nombreuses années.” (*Le Monde*, 9 mars 1963)

5. Roger Coquand à l'époque. Comme Reverdy, et quelques autres, cet ingénieur des Ponts et Chaussées (1906-2001), président de l'Association des Congrès Internationaux de la Route (1967-1974), est très actif dans toutes les revues pendant plus d'un demi-siècle. Son ouvrage sur le Corps des Ponts fera date, ainsi que le manuel destiné aux ingénieurs, *Routes, Construction et entretien*, qui en est à sa septième édition en 1980 : Brunot et Coquand, *op. cit.*

6. *RGRA* (déc. 2000).

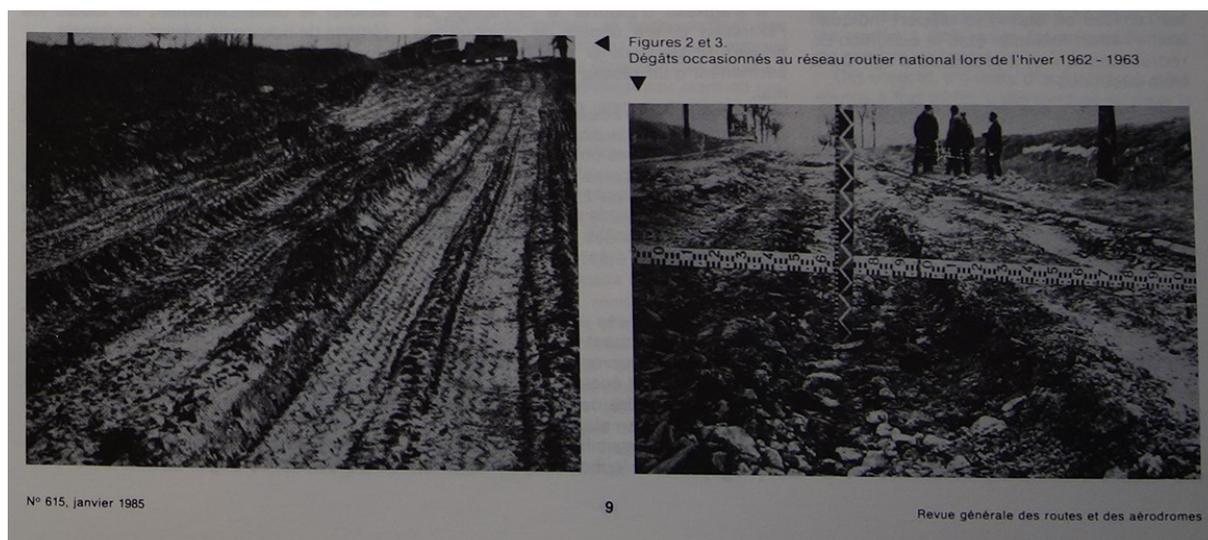


FIGURE 4.1 – Dégâts de l’hiver 1962-63 tels que présentés dans la *RGRA*⁷.

Deux mois après les premières grosses perturbations, une part importante des 82 000 km du réseau national⁸ s’effondre avec le dégel (principalement sur les grands axes de communication). La presse décrit, sur un ton dramatique, ces villes “coupées du monde” pendant plusieurs jours ou semaines, juge que “certaines RN sont presque mieux labourées que les champs voisins”, déplore les ornières considérables et des “chaussées transformées en fondrières”. Début mars, alors que l’hiver est reconnu comme le plus froid depuis 1880 (*Le Monde*, 4 mars 1963), des articles titrent : “La circulation des poids lourds continue d’être très perturbée” (11 mars 1963) ; “Une cinquantaine de départements interdits aux poids lourds” (12 mars 1963). Dans une édition spéciale rétrospective, la *RGRA* parle d’une “catastrophe sans précédent” pour le réseau routier :

“une partie de la RN4 dans le département de la Marne se distinguait à peine des champs environnants ! Des villes comme Reims ou Châlons-sur-Marne, Arras et même le Mans, furent quasiment coupées du monde pendant plusieurs jours voire plusieurs semaines. Cette situation inédite avait fait apparaître de façon dramatique l’état de misère des chaussées du réseau, tout particulièrement dans les régions sensibles au gel et là où les sols étaient les plus vulnérables. Une telle catastrophe et ses conséquences économiques avaient fortement mobilisé l’opinion et les hommes politiques. La carence de l’entretien des routes au cours des années précédentes – des décennies pour certains tronçons – apparaissaient désormais à l’évidence aux yeux de tous⁹.”

4.1.2 Reproduction des stocks

“Infrastructure is all about maintenance. Maintenance, maintenance, and more maintenance. It doesn’t just get built, like some colossal monument left to stand

7. *RGRA* (jan. 1985, p. 9).

8. A l’époque le réseau départemental compte environ 250 000 km, et le réseau vicinal 360 000 km.

9. *RGRA* (déc. 2000, p. 82).

until natural forces wear it away. It constantly has to be repaired, rebuilt, extended, shrunk, adapted, readapted, continually redefined and reengaged¹⁰.”

L’historiographie du réseau routier français est, contrairement à d’autres objets de cette thèse, relativement fournie¹¹. La plupart des recherches sur le XXe siècle ressemblent à celles dédiées à l’AT : la route, objet qui se “modernise” sans cesse, est abordée par les sempiternels binômes (dégradation et modernisation ; public et privé ; central et local), ses grands hommes (ingénieurs ou planificateurs), ses grandes entreprises, ses grandes administrations (DR), les doctrines et les idéologies, les questions de financement, les schémas directeurs, le plan autoroutier ou le rôle de la DATAR¹². Dans la littérature francophone¹³, deux aspects manquent – en plus de l’absence de crise. D’abord, à l’exception de l’introduction du revêtement goudronné¹⁴, la matérialité des transformations du réseau¹⁵. Ensuite, les modifications du réseau existant : la focale sur les autoroutes (10 000 km construits depuis 1960), tend à escamoter le million de kilomètres de route déjà là¹⁶. Lorsqu’elles sont évoquées, c’est souvent dans un récit téléologique de l’adaptation qui veut que toute transformation est une amélioration en vue d’accueillir un nouvel usager (section 4.2.5). A notre connaissance, aucune recherche sur les routes ne s’intéresse, ou même ne mentionne, le granulats. Ce chapitre plaide donc pour que l’histoire du stock de bâti, ici des réseaux routiers, tienne compte, en plus des constructions nouvelles, de l’entretien et de la maintenance – mais aussi des démolitions, élargissements,

10. Edwards dans la discussion : P. N. Edwards et al., « AHR Conversation : Historical Perspectives on the Circulation of Information », *The American Historical Review* 116.5 (2011), p. 1409.

11. Au XVIIIe siècle, la France possède déjà un équipement routier, bientôt “réseau”, très important qui croît encore avec la construction de routes impériales, royales et nationales au XIXe. La première carte itinéraire de la France qui ne s’en tienne pas aux routes de poste et qui constitue un inventaire de l’équipement routier date de 1813-1814. Ce n’est qu’en 1824 qu’un document rassemble à la fois des données quantitatives et les indices concernant la nature et l’état du revêtement routier. Voir : H. Heude, *Cours de routes & voies ferrées sur chaussées. Professe à l’École nationale des ponts et chaussées*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris et Liège, Béranger, 1912 ; Guillerme, *Corps à corps sur la route*, op. cit. ; B. Lepetit, *Chemins de terre & voies d’eau : réseaux de transports et organisation de l’espace en France 1740-1840*, Recherches d’histoire et de sciences sociales 7, Paris, Editions de l’École des hautes études en sciences sociales, 1984 ; B. Lepetit, « L’impensable réseau. Les routes françaises avant les chemins de fer », *FLUX* 2.5 (1986), p. 11-29 ; S. Blond, « L’atlas des routes royales de Trudaine. La carte, instrument de la politique routière des lumières », *Siècles. Cahiers du Centre d’histoire « Espaces et Cultures »* 25 (2007), p. 66-82.

12. Reverdy, *Histoire des routes de France*, op. cit. ; idem, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, op. cit. ; Lafont, op. cit. ; Zembri-Mary, op. cit. ; T. Chauveau, « Planification, construction routière et autoroutière en France de 1900 à 1974 », thèse de doct., École nationale des chartes, 2018.

13. La littérature anglophone : R. Gakenheimer, « Infrastructure Shortfall : The Institutional Problems », *Journal of the American Planning Association* 55.1 (1989), p. 14-23 ; G. Mom et D. A. Kirsch, « Technologies in Tension : Horses, Electric Trucks, and the Motorization of American Cities, 1900-1925 », *Technology and Culture* 42.3 (2001), p. 489-518 ; G. Mom, « Inter-artifactual Technology Transfer : Road Building Technology in the Netherlands and the Competition Between Bricks, Macadam, Asphalt and Concrete », *History and Technology* 20.1 (2004), p. 75-96 ; G. Mom, « Roads without Rails : European Highway-Network Building and the Desire for Long-Range Motorized Mobility », *Technology and Culture* 46.4 (2005), p. 745-772.

14. P. Harismendy, « Du caillou au bitume, le passage à la "route moderne" (1900-1936) », *Annales de Bretagne et des pays de l’Ouest* 106.3 (1999), p. 105-128.

15. Sur d’autres pays : Mom, « Inter-artifactual Technology Transfer », op. cit. ; A. M. Ioannides, « Concrete pavement analysis : the first eighty years », *International Journal of Pavement Engineering* 7.4 (2006), p. 233-249.

16. Si on inclut les chemins ruraux, le total avoisine sans doute 1,5 à 1,6 millions de km et une surface de 7 à 9 Gm² de chaussée. Voir : *RGRA* (avr. 1983) ; CIMbéton, *Tome 1*, op. cit., p. 19.

épaississements, etc. – en restant attentifs à ce que révèle la matérialité de ces opérations. Si la perspective de l’entretien des objets est courante pour les *infrastructures studies* et les historiens des techniques¹⁷, aucun travail ne combine matérialité, maintenance et réseau routier. Surtout, les travaux anglophones sur les routes adoptent très majoritairement une approche latourienne, ou insistent sur les imaginaires des routes¹⁸. Comme expliqué en introduction, et comme nous le prouvons chapitre après chapitre, les assemblages socio-techniques sont effectivement des objets importants à analyser, à condition d’être insérés dans des structures sociales d’une époque¹⁹. Si nous nous appuyons sur la Théorie de la Régulation, notre recherche interroge et complète une nouvelle fois les analyses régulationnistes.

Ce chapitre entend démontrer que cet hiver 1963 est une crise de l’infrastructure, c’est-à-dire de l’espace produit qu’est le réseau des RN – le plus important réseau de l’époque, puisque les autoroutes sont tout juste naissantes. Il y a une crise parce qu’il y a rupture matérielle et idéologique – ou parce qu’il y a des changements significatifs à la fois dans la matérialité du réseau et dans le paradigme dominant qui lui assigne une fonction. Dans son intensité, mesurée par celle de ses effets, celle-ci se situe entre la crise de toute la production d’espace (chap. 1) et les petites crises dans la sphère de la production (chap. 3). Il y a, évidemment, une part d’arbitraire à choisir 1963 – nous pourrions tout aussi bien démarrer en 1960 (Plan Directeur Routier) ou 1969 (quand débute effectivement le programme de transformation matérielle, dit programme des “renforcements coordonnés”). Cette date nous sert à introduire le récit et non pas à figer une borne chronologique. Et pourtant, placer la scène en 1963, c’est simultanément se plonger au cœur du Fordisme, des “Trente Glorieuses”, de la Grande Accélération et de “l’âge d’or” de l’AT. Les si nombreux “événements” de cette année-là ne sont pas le fait d’une pure coïncidence : des revues dédiées aux routes et travaux publics naissent (*Chantiers de France, Bull. de liaison*) ; le pétrole égalise le charbon comme première source d’énergie ; la DATAR est créée et lance la mission pour l’aménagement du Languedoc-Roussillon ; publication du Livre Blanc du district parisien ; la construction industrielle d’autoroutes est réellement entamée ; etc. Ces “événements” témoignent des processus à l’œuvre. Ce chapitre illustre la force de notre démarche : restituer un moment dans sa complexité (tant des acteurs que des idéologies en présence), en montrant que la trajectoire qui a suivi sur le long terme ne s’imposait pas *a priori* tout en expliquant pourquoi, *a posteriori*, se glissaient en germe les ingrédients (idéologies et rapports de forces) nécessaires à la rupture métabolique. Cet effort d’analyse nous paraît important car il évite deux écueils symétriques : celui qui revient à affirmer que les transformations sont évidentes “parce que

17. D. Edgerton, *Shock Of The Old : Technology and Global History since 1900*, New York, Oxford University Press, 2007.

18. Harvey et Knox, *Roads, op. cit.* ; P. Merriman et R. Jones, « Nations, materialities and affects », *Progress in Human Geography* 41.5 (2017), p. 600-617.

19. En ce sens notre démarche est similaire à l’approche par les systèmes de provision. “Whilst rooted in the understanding of accumulation developed within the political economy tradition, SoP has been developed to aid concrete research in a way that both recognizes the social, cultural, technical, as well as economic specificities of any one provisioning process, whilst at the same time incorporating understanding of the more general dynamics of capitalism.” Une étude – découverte après la rédaction de ce chapitre – l’utilise sur la dépendance à la voiture et le CO2. Celle-ci ne propose pas d’étude de cas, néglige la dynamique historique des hausses de stocks, en particulier le poids lourd et le commerce extérieur, ainsi que la matérialité des infrastructures : G. Mattioli et al., « The political economy of car dependence : A systems of provision approach », *Energy Research & Social Science* 66 (2020), p. 101486.

c'était le Fordisme"; celui qui affirme que la future trajectoire était radicalement imprévisible à cette époque. Plutôt que de nous contenter du constat *ex post* de la cohérence de cette transformation avec un régime d'accumulation (dont les propriétés ne sont évidemment pas connues en 1963), nous expliquons pourquoi et comment le stock est transformé, et de quelles façons il vient soutenir le Fordisme.

La section 4.2 nous plonge en 1963. Nous déplaçons les arguments mis en avant, et le cadrage idéologique sous-jacent, soutenant une nouvelle politique d'entretien²⁰ qui est dès le départ rattachée à la politique autoroutière. C'est l'union de ces politiques de "modernisation" qui représente un saut métabolique qualitatif et quantitatif. La représentation de la route comme un capital la soumet à des contraintes propres à la logique de valorisation et oblige à son entretien permanent. La section 4.3 met en évidence l'ampleur de ce programme qui exige d'immenses investissements (monétaires et organisationnels) avant et pendant sa mise en place. Des dizaines de milliers de kilomètres de chaussée sont auscultés, élargis, rigidifiés et épaissis avec une technique issue de la stabilisation aux liants hydrauliques (chap. 3). Dans la section 4.4, nous prenons position dans l'historiographie des routes contre le récit de l'adaptation mécanique aux usagers. Nous montrons que cette politique routière gagne en intelligibilité lorsqu'on l'insère dans l'évolution du régime d'accumulation fordiste qui s'internationalise. C'est pour satisfaire les contraintes de circulation permanente de marchandises qu'il faut ajouter du stock de matières aux anciens. La production d'espace et l'AT ne sont pas que synonymes de production de nouvelles infrastructures, mais également de l'extension et de l'épaississement très important des infrastructures déjà là. Enfin, nous examinons les effets durables, matériels et idéologiques, de cette transformation métabolique (section 4.5). Cette politique en apparence anodine constitue un verrou matériel et idéologique de taille : elle revient à donner la priorité absolue à l'automobile et aux poids lourds comme modes de transport (de personnes et de marchandises) sur les réseaux routiers, à l'exclusion des autres. Une fois naturalisés, ou sortis du champ politique, les stocks n'ont d'autres choix que de croître – obstruant ainsi les alternatives.

4.2 Une démonstration infaillible

Pour prouver qu'il y a bien eu une crise de l'infrastructure en 1963, il faut expliquer ce qui change, comment cela change et qui promeut ce changement. Avant d'examiner les transformations du réseau à la section suivante, qui ne sont effectives à grande échelle qu'en 1969, il est nécessaire d'expliquer le sens des choix qui sont faits dans la période qui suit le mois de janvier 1963. Cette section révèle que le passage du récit catastrophiste esquissé en introduction, répété *ad nauseam* par les acteurs désireux du changement (4.2.1), à une immense politique d'agrandissement du réseau ne va pas de soi. S'ils la mentionnent peu, les ingénieurs savent très bien que la cause première des dégâts tient à l'augmentation du trafic de poids lourds (4.2.2). Celle-ci est systématiquement (le plus souvent implicitement) présentée comme naturelle, signe d'une économie "moderne" ou en "bonne santé". Les routes sont

20. Si nous adoptons une approche matérielle dans ce chapitre, ce n'est – bien sûr – pas pour tomber dans le travers opposé, qui consisterait à esquiver les idéologies sous prétexte qu'elles ne comptent pas. Elles sont évidemment fondamentales, y compris dans leurs effets matériels, sur le temps long.

perçues comme fondamentalement bonnes pour l'économie²¹. Les choix effectués après l'hiver 1963 sont le résultat d'un certain cadre idéologique, encore présent aujourd'hui (section 4.5), qui naturalise les besoins en s'appuyant sur : l'insoutenabilité prétendue de politiques d'entretien traditionnelles (4.2.3), la transformation du réseau en capital investi (4.2.4) et un récit qui ramène tout changement à une adaptation mécanique et inéluctable (4.2.5). Aussi, les causes les plus évidentes, si elles sont reconnues, restent-elles inattaquées de par la mise en place du principe supérieur de la croissance économique, de la libre circulation en toutes saisons des marchandises, et du capital à préserver²². Sans grande surprise, les acteurs²³ qui désirent un changement radical (ingénieurs, patronats, planificateurs), partagent, au moins implicitement, un mélange d'idéologies moderniste, productiviste et croissanciste²⁴. Partant des mêmes postulats, les mêmes raisonnements aboutissent, inévitablement, aux mêmes conclusions : "il faut" adapter les routes à la "modernité" ou aux "besoins économiques". Le cadrage idéologique impose, tautologiquement, un cadre des débats, de ce qui peut être discuté, ou non²⁵. Les exigences sont présentées avec la force de l'évidence – qui voudrait s'opposer à l'entretien d'un objet abîmé ou au retrait de "barrières" ?

4.2.1 Maintenir la pression

La ritournelle sur la "catastrophe" de l'hiver 1962-63 revient à supprimer les rapports sociaux de l'analyse et transformer une question politique en choix technique, sans épaisseur socio-historique²⁶. Cette représentation d'un hiver comme cause des dégâts a été érigée, grâce au travail implicite ou explicite de certains acteurs, au statut de vérité par effet de répétition.

21. L'URF n'est pas avare en citation choc : "route fréquentée crée prospérité" ; "La circulation routière d'un pays constitue l'un des facteurs essentiels de son degré de civilisation" (*NRC*, déc. 1954-jan. 1955). Ce type de représentation est ancien chez les ingénieurs : "Les voies de terre sont les rues des États, elles sont l'instrument le plus utile de l'agriculture et du commerce. C'est par elles que vivent les autres voies, comme les rivières par leurs ruisseaux. Sans elles, la France en serait encore à ses forêts. Nulle mine n'est plus féconde, c'est une poule aux œufs d'or" : A. Berthault-Ducreux, *Manuel du cantonnier de chemins vicinaux*, Paris, Carillan-Goeury et Dalmont, 1845 ; la Circulaire du Directeur général des Ponts et Chaussées et des Mines aux Préfets de 1839 commence par ces mots : "L'état des routes doit fixer au plus haut degré votre attention et la mienne ; une circulation facile et commode est un si grand bienfait pour la société que nous ne devons négliger aucun effort pour le lui assurer" : Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *Instructions sur les méthodes à suivre pour l'entretien des routes, pour l'exécution des plantations sur les accotements, et pour l'entretien de ces plantations*, Angers, E. Barassé, 1864, p. 3.

22. Le premier cours à intégrer l'automobilisme à l'ENPC illustre parfaitement la force de l'idéologie. L'auteur reconnaît d'abord explicitement que l'automobile détruit les chaussées, pour ensuite reconnaître : "nous devons marcher avec notre temps et rechercher tous les moyens d'adapter nos chaussées au nouveau mode de locomotion" : Heude, *op. cit.*, p. 202.

23. Un exemple littéraire donne un autre point de vue dans un petit village à l'hiver 1963, côté suisse. Loin de célébrer la transformation du réseau, les protagonistes s'opposent à l'élargissement et la bitumisation d'une route et déplorent la fin du passage du tramway qui est remplacé par des autobus : B. Pellegrino, *Là-bas, août est un mois d'automne*, Zoé poche 107, Genève, Zoé, 2021.

24. Pessis, Topçu et Bonneuil, *op. cit.* ; Bécot, *op. cit.* ; Audier, *op. cit.*

25. Sur les récits liés aux transformations socio-techniques du système de transport : J. C Roberts, « The evolution of discursive story-lines during socio-technical transitions. An analytical model applied to British and American road and rail transport during the twentieth century », Ph. D. thesis in Humanities, University of Manchester, 2015.

26. Ceci est analogue à l'incident météorologique que décrit Alexis Zimmer dans sa thèse au sujet d'un brouillard mortel : Zimmer, *op. cit.*

Si cet hiver est le plus rude du XXe siècle²⁷, il est assez proche dans sa “rigueur”, à d’autres qui n’ont pas eu autant d’effets sur les routes²⁸. De plus, le gel, reconnu de très longue date comme un acteur redoutable dans l’univers routier, ne peut avoir surpris les ingénieurs²⁹. Si des dégradations sont bien réelles, et jamais vues sur certains tronçons, l’ampleur de la catastrophe est donc exagérée à dessein. Le récit des “dégâts de l’hiver 1963” va être tissé au fil des mois et des années avec pour but d’inquiéter et de produire une opinion publique sur ce sujet. Un important objectif connexe, dans les premières années, consiste à convaincre le Ministère des Finances à engager des moyens jamais vus pour transformer le réseau.

Ce type de récit s’insère dans les demandes du patronat routier, incessantes depuis les années 1950 et, même si déjà partiellement satisfaites³⁰, toujours plus pressantes à l’heure où l’important programme autoroutier commence à être effectif. Le président de l’Union Routière de France (URF³¹), Georges Gallienne, va jouer un rôle important dans la mise en récit de la “catastrophe” de l’hiver 1963. Le patronat exhorte, depuis 1948, l’État à lancer rapidement d’importants programmes d’investissement routier pour assurer de bonnes conditions de circulation, contribuer au développement économique du pays et remplir le carnet de commandes des entreprises. Gallienne, donc, organise une conférence de presse dès le 21 mars 1963, lors de laquelle il explicite ses vœux. Il incrimine, pour la énième fois³², l’insuffisance des crédits pour l’entretien des routes, qui ne permettent pas la modernisation du réseau. Il dénonce aussi vertement les barrières de dégel, qui peuvent rester “pendant 57 sur 100 jours dans 68 départements”, et exige par conséquent de mettre “hors-gel” les itinéraires les plus essentiels. La solution proposée consiste non pas à réparer les dégâts, mais à produire de nouvelles chaussées qui soient insensibles au gel. Dans une stratégie du choc implicite³³, il ne juge pourtant pas trop sévèrement la “catastrophe de l’hiver 1962-1963”. Plus exactement,

27. Dans le nord de la France, le sol gèle jusqu’à 60 cm de profondeur, la glace fige les rivières, les canaux, les lacs et même, en certains endroits, des fleuves : B. Lysaniuk, « Souffler le froid et le chaud », *Communications* 101.2 (2017), p. 162.

28. Avant lui : 1916/17, 28/29, 40/41 et 55/56 (ce dernier établit les records de température négative). L’hiver 1946/47, connu pour avoir été “désastreusement long et rigoureux” et qui vient ajouter ses propres dommages à ceux de la guerre (*PCM*, nov. 1947) n’a pas eu autant d’effets que l’hiver 1963 (*PCM*, déc. 1983).

29. La *RGRA* consacre, depuis son origine (1926), divers articles à la viabilité hivernale et aux processus de gel-dégel. A plusieurs reprises, le gel pénètre le sous-sol des chaussées empierrées et enlise les convois lors de la Première Guerre mondiale (*RGRA*, déc. 2000, p. 17-18). Un ouvrage de 1832 évoquant “les points sur lesquels tout le monde est d’accord (sic), concernant les routes”, cite “que la dégradation des routes provient principalement du choc des roues, de l’action de la pluie et de celle de la gelée” : J. Grass, *Nouveau système d’entretien des routes et des chemins vicinaux*, Strasbourg ; Paris, Levrault, 1832, p. 8 ; dans un autre, on lit parmi les causes de la détérioration des chaussées, les “périodes de gel-dégel et surtout les grands dégels, ceux qui succèdent à des froids plus ou moins longs et intenses” : Berthault-Ducieux, *Manuel du cantonnier de chemins vicinaux*, *op. cit.*, p. 8.

30. La création d’un fonds routier (FSIR) fin 1951, qui pourtant a déjà pour objet la modernisation du réseau, déçoit les ingénieurs et patronats (*RGRA*, n°291, 1956, jan. 1958, fév. 1959). Voir : Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.* ; Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.*

31. Organisme fondé en 1935 qui regroupe les professionnels du secteur routier (entreprises de travaux publics et transporteurs). L’autre grand patronat de la profession routière est l’Union Syndicale des Industries Routières en France (USIRF), créée en juillet 1936 après les grandes mobilisations sociales en France.

32. L’URF organise des conférences de presse en 1948, 1954 et 1958 pour réclamer une forte hausse des budgets et un programme autoroutier ambitieux (*RGRA*, juil. 1948, mars 1959 ; *NRC*, nov. 1954).

33. Conceptualisée par Naomi Klein, l’idée est que des groupes sociaux vont profiter d’un événement à fort puissance affective pour imposer un agenda qui sert leurs intérêts.

il l'estime "utile" si elle permet de "convaincre l'opinion publique du caractère vital de la circulation routière et de démontrer aux pouvoirs publics la nécessité d'élargir rapidement la politique routière infiniment trop restrictive même depuis la Libération". Il en appelle explicitement à la presse, qu'il enjoint à l'aider dans la production d'une opinion publique : "Il [Gallienne] demande aux représentants de la presse de bien vouloir continuer à l'aider dans cette tâche de salut public" explique un article dans *L'Équipement Mécanique*. Son intervention est reprise par *Le Monde* (25 mars 1963) et les revues spécialisées³⁴.

Ce n'est pas tant que cet hiver-là soit mentionné qui surprend – après tout, c'était objectivement un hiver très particulier – mais qu'il soit le plus souvent exposé comme cause de la catastrophe. Les articles traitant des questions d'entretien routier, ou "la route et les problèmes de gel/dégel", évoqueront systématiquement l'événement de l'hiver 1962/63³⁵. Plus de vingt ans après, les hivers qui ont suivi celui 1963, comme celui de 1969³⁶, 1979 ou 1985, "ont maintenu une certaine pression", comme réactivant périodiquement les affects déjà créés, notamment par la diffusion de photographies alarmantes, permettant de consolider et légitimer la politique engagée. Une fois les renforcements entamés, l'hiver sert simultanément à saluer l'intérêt de cette politique, et à exiger son maintien, voire son accélération. Présentant un nouveau plan routier en 1985, le Directeur du SETRA rappelle ainsi le "grand intérêt" d'un réseau routier hors-gel : "6 000 km d'autoroutes et 20 000 km de RN auraient été paralysés à l'hiver 1985 (et avec eux les capacités de production et d'échanges)". Par conséquent, "il ne faudrait pas qu'un hiver exceptionnel conduise à la ruine des chaussées avec les conséquences économiques que l'on sait³⁷". Le récit d'une rencontre désastreuse entre un hiver très froid et un réseau vétuste, avec une causalité mécanique et asociale, se perpétue jusqu'à aujourd'hui dans de très nombreux articles et rapports gouvernementaux³⁸.

4.2.2 Usure puissance 4

La répétition des cycles de gel-dégel de l'hiver 1963 fragilise les chaussées. Au moment du gel, l'eau contenue dans le sol se transforme en glace avec un accroissement de volume ; les lentilles de glace ainsi formées ont tendance à attirer l'eau des parties non gelées et donc à s'accroître. Ce phénomène peut provoquer la dislocation des revêtements routiers pour peu que ceux-ci ne soient pas parfaitement imperméables. Le danger est bien plus sérieux au moment du dégel, car, celui-ci s'effectuant de haut en bas, l'eau ne peut s'écouler par capillarité ou infiltration dans les couches inférieures encore gelées ; il s'ensuit alors une diminution de la force portante de la chaussée qui baigne dans un sol gorgé d'eau et sa dégradation, même dans le cas d'un trafic peu élevé, est extrêmement rapide³⁹. En bref, lors du dégel, en l'absence de force portante, la chaussée ne peut supporter de poids lourds. La catastrophe n'est donc pas causée par l'hiver mais par le passage de nombreux poids lourds à une époque où cela

34. *RGRA* (avr. 1963) et *L'Équipement Mécanique* (mai-juin 1963, p. 45-46).

35. *Travaux* (LR, 1968).

36. *Bull. liaison* (mai-juin 1969, p. 151).

37. *RGRA* (jan. 1985).

38. En 1988, dans le rapport annuel de la DRCR, on retrouve ces mêmes balises du récit (*La route en*, 1988, p. 39) : "l'hiver 1962-1963, qui fut particulièrement rigoureux, a dégradé considérablement les chaussées" ; "des barrières de dégel ont dû être posées massivement et maintenues jusqu'à 50 jours" ; "les pertes économiques ont été très lourdes et les difficultés se sont fait sentir jusque dans le centre de nombreuses villes".

39. *RGRA* (oct. 1969).

devrait être évité – c’est la raison d’être des barrières de dégel. Les ingénieurs, notamment ceux des Ponts et Chaussées, connaissent très bien tous ces mécanismes au moment de la catastrophe. Ils s’interrogent par exemple, dès la moitié du XIX^e siècle⁴⁰, sur la fonction qui caractérise l’usure des chaussées (qui aboutirait à une “loi d’usure de la chaussée”), calculée selon des métriques physiques⁴¹ : est-elle affine ou exponentielle relativement au trafic ? Les inquiétudes sur l’usure causée par les véhicules sur les chaussées s’accroissent avec les premiers poids lourds automobiles, 9 tonnes par essieu, qui démolissent visiblement les pavés⁴². Après 1945, des tentatives de théorisation, et modélisation, vont être menées à partir de mesures empiriques. Si aucune “loi” incontestable ne sera jamais établie, les preuves s’accumulent : les poids lourds⁴³ démolissent le corps même des chaussées, et les dégâts sont une fonction exponentielle du poids. En 1957, une longue étude sur “la dégradation des couches de bases sous l’action conjuguée des intempéries et du trafic lourd” préfigure bien des constats⁴⁴. Des témoins, qui avaient des responsabilités opérationnelles à l’hiver 1963, révéleront plus tard : “l’ingénieur d’un territoire sait que quelques heures peuvent suffire à une caravane de poids lourds pour détruire plusieurs dizaines de kilomètres de chaussée en dégel. De sa décision dépend en grande partie la pérennité du réseau⁴⁵.”

Ces faits sont d’autant mieux connus et partagés que les ingénieurs discutent depuis quelques années de résultats obtenus lors de tests effectués aux États-Unis, où ils se rendent régulièrement en mission depuis l’entre-deux-guerres⁴⁶. Or ce pays approfondit sa politique en faveur de l’automobile par de nouvelles infrastructures dédiées : le Congrès étatsunien

40. Jules Dupuit a cherché à mesurer l’usure et a étudié les principales variables qui la causent, pour répondre à une question d’économie politique : “Faut-il aussi, même si la route est gratuite, réglementer les formats des véhicules ?” Dupuit est critiqué, par exemple par Graëff, sur l’hypothèse de la proportionnalité de l’usure au tonnage. Graëff, *op. cit.* ; Grall, *op. cit.* ; F. Vatin, « Jules Dupuit (1804-1866) et l’utilité publique des transports, actualité d’un vieux débat : Conférence donnée aux membres de l’AHICF à l’occasion de leur assemblée générale, le 27 mars 2003 », *Revue d’histoire des chemins de fer* 27 (2003), p. 39-56 ; *idem*, « L’esprit d’ingénieur », *op. cit.*, p. 147.

41. Divers calculs sont réalisés : environ 30 m³ par km et par 100 colliers pour des matériaux de qualité moyenne ; entre 1886 et 1891, l’usure a été d’environ 1,3 Mm³ par an et l’entretien a incorporé dans les chaussées 7,5 Mm³ de matériaux mesurés en tas (environ 6 Mm³ de chaussée compacte). Voir : L. Marx, « L’entretien des routes nationales », *Journal de la société statistique de Paris* 26 (1885), p. 385 ; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 550-551 ; Grall, *op. cit.*

42. Un essai publié dans les *Annales PC* (juin 1922) établit déjà qu’un camion à roues pleines érode 16 fois plus une route qu’avec des pneumatiques. Voir : Heude, *op. cit.*, p. 213 ; Harismendy, *op. cit.*, p. 115.

43. Selon les normes françaises, véhicule avec un poids total autorisé en charge au moins égal à 3,5 t.

44. *RGRA* (juil. 1957).

45. *RGRA* (jan. 1985, p. 47).

46. Voire depuis les années 1890. De très nombreuses “missions de productivité” sont réalisées dans le cadre du Plan Marshall et une mission de six semaines est réalisée par la FNTP en avril 1950 (*RGRA*, 2000, p. 24). Les techniques et les matériels étatsuniens sont souvent discutés dans les revues – certains décrivent une “américanisation de la technologie routière française” (*RGRA*, mars 1954, juin 1954, mars 1956, avr. 1956, sept. 1957, déc. 2000, p. 24-32). En mars 1965, la *RGRA* dédie un numéro aux “réalisations américaines”. Ainsi, la politique intérieure étatsunienne a des effets très concrets, quoique indirectement, sur l’histoire de l’adaptation du réseau français. Voir : L. Boltanski, « America, America... : Le Plan Marshall et l’importation du "management" », *Actes de la recherche en sciences sociales* 38.1 (1981), p. 19-41 ; R. F. Kuisel, « "L’American way of life" et les missions françaises de productivité », *Vingtième Siècle. Revue d’histoire* 17 (1988), p. 21-38 ; Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, *op. cit.*

vote en 1956 le *National Interstate and Defense Highways Act*⁴⁷ qui prévoit la construction de 70 000 km d'autoroute en quinze ans. Pour mener ce gigantesque plan, le plus grand essai routier au monde est réalisé de 1952 à 1960 par l'*American Association of State Highway Officials*⁴⁸. Roger Coquand, qui observe les essais, décrit une “destruction de chaussées” par accroissement des charges⁴⁹. D'innombrables discussions, et de vifs débats, accompagnent d'autres essais dans les années 1950⁵⁰ ainsi qu'à l'occasion du voyage en Europe, pile au moment de la “catastrophe”, du président du comité des études de l'*Asphalt Institute* aux États-Unis – d'abord à Bruxelles (22 et 23 janvier 1963), ensuite lors d'un colloque à Paris le 1er février 1963⁵¹. Le point crucial de ces foisonnants échanges des années 1960⁵² : les dégâts n'évoluent pas linéairement au poids des véhicules, mais avec un facteur puissance quatre (au moins). Un véhicule deux fois plus lourd qu'un autre aurait donc un impact 16 (= 2⁴) fois plus important. D'autres tests confirment que les véhicules légers n'interviennent pas dans la fatigue totale⁵³. Les élus le savent⁵⁴, et c'est aussi un fait internationalement établi et partagé lors des congrès de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Routes (comme à Rome en 1964), dans lesquels les ingénieurs français sont très impliqués. Puisque leur impact est admis comme négligeable comparé aux poids lourds, la recommandation internationale (par exemple de la Banque Mondiale) au milieu des années 1970 est de négliger les véhicules légers pour décider de l'épaisseur des routes⁵⁵. Comme la “quasi-totalité” de la fatigue des chaussées est à imputer aux essieux les plus lourds, le dimensionnement des chaussées aura pour principale variable la quantité journalière de poids lourds⁵⁶.

47. Plan, dont le coût est supérieur à trois fois le plan Marshall, voulu par le président Eisenhower avec le soutien des principales firmes industrielles d'automobile.

48. Plus de 240 sections de chaussées souples (avec un revêtement en bitume) et 272 sections de chaussées rigides (avec un revêtement en béton de ciment) construites spécialement et soumises à plus d'un million de charges ; 600 millions de mesures ; des multiples essais annexes ; des études de ponts ; etc.

49. *Travaux* (juin 1954, p. 85-86).

50. L'essai WASHO réalisé de 1952 à 1954 est aussi longuement étudié et discuté (*RGRA*, sept. 1957).

51. *RGRA* (mai 1963).

52. Un témoin écrit : “Ceci nous a amenés à prendre de très nombreux contacts avec les Ingénieurs ou Administrateurs américains à tous les niveaux, et à nous intéresser davantage aux hommes, aux idées et à la philosophie des conceptions et de l'organisation américaine qu'aux réalisations qui sont d'ailleurs bien connues du monde entier et notamment des Ingénieurs français.” D'autres visites sont organisées en février et mars 1963 et les années suivantes (*PCM*, jan. 1964, p. 9-14 ; *RGRA*, jan. 1969, p. 32, déc. 2000, p. 27).

53. Une étude lancée en 1964 vient confirmer les travaux étatsuniens. Dans un article intitulé “L'action du trafic lourd sur les chaussées, les raisons d'une alarme”, on lit : “le rapport d'équivalence et l'essieu d'un véhicule léger (de tourisme) pour la fatigue d'une chaussée est de l'ordre du million. (...) cela revient à dire que les véhicules légers n'interviennent *que pour une fraction absolument minime* (inférieure au 1 cent-millième) dans la fatigue totale des chaussées en France.” La conclusion est implacable : “*Le trafic lourd est générateur de dégradations à une cadence bien plus que proportionnelle à la charge par essieu*” (*Bull. liaison*, fév. 1967, p. 5-7, en italique dans le texte).

54. Un exemple d'un sénateur “un essieu de treize tonnes est cinq à six fois plus agressif qu'un essieu de dix tonnes ; un essieu de seize tonnes est cinq à six fois plus agressif qu'un essieu de treize tonnes et un essieu de vingt tonnes l'est près de cent fois plus” (*Annales de la Voirie*, 1964).

55. Montealegre, *op. cit.*, p. 122-123.

56. Les classes de trafic sont déterminées à partir du trafic poids lourds en moyenne journalière annuelle de la voie la plus chargée de la chaussée pendant l'année de mise en service (*Bull. liaison*, spécial E, mai 1966 ; *Travaux*, LR, 1968 ; *RGRA*, juin 1981).

Un dépouillement très simple conduit aux conclusions suivantes :

Population des essieux simples des véhicules lourds (moyens et gros transporteurs)			
	<i>Essieux de moins de 10 t</i>	<i>Essieux de 10 à 13 t</i>	<i>Essieux de plus de 13 t</i>
<i>figurent pour :</i>	80 % du nombre total	12 % du nombre total	8 % du nombre total
<i>provoquent :</i>	moins de 10 % ⁽¹⁾ de la fatigue des chaussées	20 % de la fatigue des chaussées	75 % de la fatigue des chaussées

(1) Un calcul nous a donné 4 % ; étant donné les réserves faites plus loin concernant les coefficients d'équivalence, nous préférons écrire « moins de 10 % ».

FIGURE 4.2 – Impact des poids lourds en fonction du poids ⁵⁷.

Si l'exponentielle est un fait partagé ⁵⁸, on ignore l'exposant. Une loi de la “puissance alpha”, qui définit les dommages de chaussée provoqués par les véhicules en fonction de leurs caractéristiques, va être développée dans les décennies qui suivent avec un paramètre alpha qui varie entre 4 et 12 selon le revêtement de la chaussée ⁵⁹. Il faut ici relever la singularité de la norme française de 1946 ⁶⁰ : l'essieu jumelé de 13 t, contre 5 t auparavant, comme essieu de référence ⁶¹. Ce poids est le paramètre clé de la technique routière française, et en particulier pour la méthode de dimensionnement des chaussées (le poids maximal augmentant dans le temps, on le verra). Il faut 11 000 passages d'essieux de 2 t pour causer un endommagement équivalent à celui d'un essieu de 13 t sur chaussée souple (un million sur chaussée rigide). Cette norme coûte très cher en flux de matières puisqu'elle a pour conséquence un surdimensionnement des chaussées par rapport à celles réalisées à l'étranger au même moment (la norme est de 8 tonnes aux États-Unis).

4.2.3 Insoutenables barrières

Soutenu par le récit de “la catastrophe”, dont il est un propagateur zélé, le patronat va exiger un “réseau moderne”, en insistant sur la fin de zones “enclavées”, donc sur la suppression des barrières de dégel. Comme celles-ci concernent les poids lourds uniquement, c'est l'argu-

57. *Bull. liaison* (fév. 1967, p. 6).

58. “Il est notoire que la fatigue des chaussées croît beaucoup plus que proportionnellement au poids des essieux, spécialement sur les chaussées souples” (*Travaux*, LR, 1968, p. 6).

59. De 4 à 6 pour les chaussées souples, majoritaires dans le pays (*Travaux*, LR, 1968 ; *Chantiers de France*, oct. 1976, p. 48 ; *RGRA*, avr. 1980). Voir : *RGRA* (juin 1981, p. 31) ; *Travaux* (juil.-août 1989, p. 31).

60. Selon Guillaume, celle-ci est établie pour tenir compte des camions bradés dans les surplus étatsuniens après 1945. Nous ne pouvons confirmer cette affirmation. Guillaume, « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », *op. cit.*, p. 9.

61. Les transporteurs la transgressent “trop souvent” avec des surcharges (*Chantiers de France*, oct. 1976, p. 48). Cette charge par essieu est la plus lourde du monde (*Revue de Métallurgie*, mai 1978, p. 281).

ment économique, celui de libre circulation des marchandises, qui domine largement (même si on trouve la demande de circulation permanente pour le tourisme). Les zones “coupées du réseau” par des barrières de dégel sont par exemple décrites comme “sans vie économique” : l’hiver 1963 est une “catastrophe pour l’économie”, puisque la circulation des flux de marchandises est présentée comme “vitale” pour l’activité économique. Il faut “maintenir la possibilité de circuler quelles que soient les conditions climatiques”. Le passage qui suit condense divers arguments utiles à notre propos. Il s’agit d’une question orale d’un sénateur qui reconnaît explicitement s’être inspiré d’une brochure de l’URF. Sa prise de parole a lieu lors de la session du 23 juin 1964 consacrée à la situation du réseau routier, alors qu’aucune véritable politique d’entretien n’a encore été décidée.

“La pause des barrières a désormais des conséquences économiques graves sur la marche de nombreuses entreprises et l’économie nationale dans son ensemble. Des régions sont, pendant parfois quelques semaines, dans l’impossibilité de recevoir les approvisionnements. (...) Réparer après chaque hiver est trop coûteux. Il faut mettre hors-gel tout le réseau et surtout les secteurs industriels. La modernisation de l’infrastructure amènera un trafic nouveau, donc des ressources fiscales supplémentaires pour l’État ⁶².”

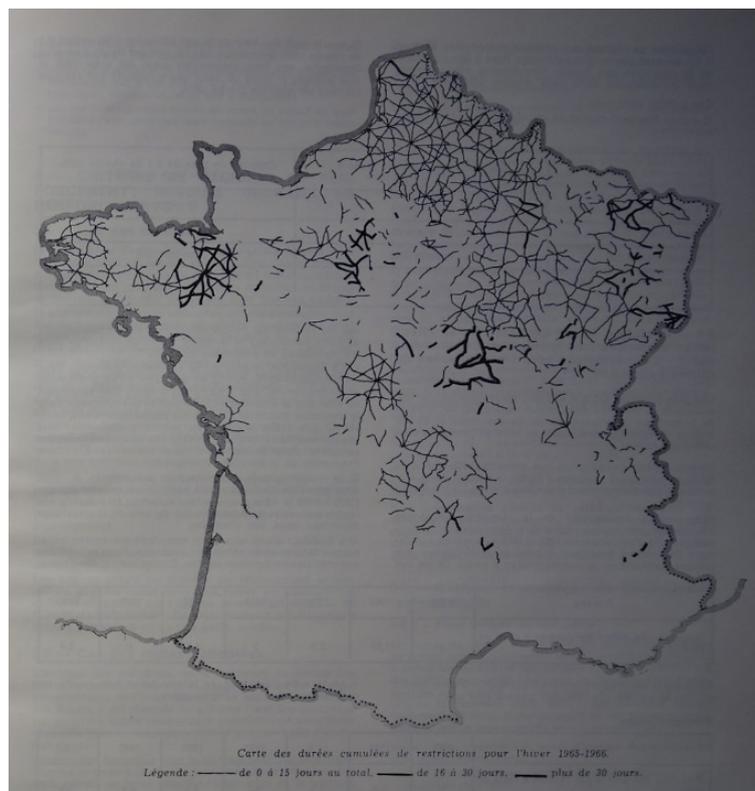


FIGURE 4.3 – Durées cumulées de restrictions pour l’hiver 1965-1966 ⁶⁴. Ce type de carte, où pour une fois la partie vide est souhaitable, apparaît souvent dans les rapports pour maintenir la pression.

Les barrières de dégel deviennent rapidement un point focal des discussions puisqu’elles constituent l’alternative à la mise hors-gel. Elles constituent un autre moyen de maintenir la

62. *Annales de la Voirie* (oct. 1964).

64. *Travaux* (LR, 1968, p. 9).

pression sur le Ministère des Finances : leur simple présence est décriée, jugée insupportable pour l'utilisateur, intolérable dans un pays industrialisé⁶⁵. Des éléments cartographiques illustrant les zones soumises à des restrictions pendant l'hiver sont fréquemment publiés comme des preuves objectives de la poursuite de la catastrophe dans le temps (figure 4.3). Non seulement leur incidence économique est étudiée théoriquement dans le but de les condamner, mais chaque épisode hivernal sert aussi à encenser leur suppression⁶⁶. Cette dernière alimente une logique cumulative : la mise hors-gel effective d'un tronçon d'une RN, puis du réseau, conduit le patronat à exiger la fin des barrières sur le reste de cette RN, et par suite du reste du réseau⁶⁷. Ironiquement, les acteurs savent qu'il n'est pas question de supprimer totalement les barrières de dégel – fin 1984, 56 RN peuvent encore être soumises à des barrières de dégel⁶⁸.



FIGURE 4.4 – Rencontre avec une barrière de dégel sur les hauts plateaux de Belgique (mars 2021).

65. Un exemple dans le récit rétrospectif du DR lorsqu'il évoque la période 1964-1965 : "l'hiver 1962-63 commençait à s'estomper des esprits, mais ... heureusement ou malheureusement?... à la suite de chaque hiver, les barrières de dégel devenaient de plus en plus contraignantes et l'état des chaussées devenait pour "l'utilisateur moyen" de plus en plus inacceptable et donc les hommes politiques, les décideurs, manifestaient de plus en plus d'inquiétude sur la dégradation de la situation." (*RGRA*, jan. 1985, p. 8).

66. Les faibles effets d'un hiver sur les routes sont la preuve du "bien-fondé" des efforts de modernisation "pour la vie économique du pays" (*RGRA*, avr. 1986 ; *Travaux*, LR, 1987). Les barrières sont "évidemment préjudiciables à la vie économique" : "l'arrêt des approvisionnements peut conduire certaines entreprises à des ruptures de stock et donc au chômage technique, tandis qu'elles sont dans l'impossibilité d'écouler leur production ; tout ceci se répercutant bien sûr sur leur trésorerie. (...) Pour les transporteurs routiers, les barrières de dégel impliquent des allongements de parcours quand elles ne les empêchent pas tout simplement de rouler parce qu'il est impossible d'atteindre les clients pour livrer ou charger des marchandises." A. Barré et C. Kergomard, « Le «grand Hiver» 1978-79 et les difficultés de la circulation routière dans la région Nord-Pas-de-Calais », *Hommes et Terres du Nord* 2.1 (1980), p. 1-18.

67. "Faute de la continuité routière nécessaire, de nombreux établissements industriels, artisanaux et commerciaux ont en effet été perturbés durant les hivers précédents par la difficulté, voire l'impossibilité, d'assurer correctement leurs approvisionnements et leurs expéditions" (*Travaux*, LR, 1987, p. 28).

68. Cela serait "beaucoup trop onéreux et d'une efficacité économique douteuse ; en matière de barrière de dégel comme en matière de crue, la protection absolue n'existe pas" (*PCM*, sept. 1972, p. 58). Des barrières de dégel sont toujours posées dans la région NPdC en 1979 (*RGRA*, jan. 1985).

4.2.4 Préserver un capital investi

La représentation de la route comme un capital investi⁶⁹, en plus d'être un patrimoine à préserver, va être essentielle dans l'argumentation des partisans d'une nouvelle politique routière. L'idée est aussi simple – puisque c'est un capital qui se détériore, c'est dans “notre intérêt de le préserver” – qu'ancienne. Elle figure telle quelle dans une circulaire administrative de 1878⁷⁰, et à plusieurs reprises, très longuement, dans le cours à l'ENPC de Durand-Claye de 1895 qui assigne déjà à l'entretien la fonction de conservation de ce capital⁷¹. L'argument le plus courant⁷², qui domine encore après 1945⁷³, consiste à mettre en rapport le coût des entretiens immédiats avec, d'un côté, le coût de réparations ultérieures et, de l'autre, la valeur supposée du réseau. Dans les deux cas, le coût de l'inaction est incomparablement supérieur de sorte que les crédits pour l'entretien immédiat apparaissent mécaniquement comme dérisoires, et il devient légitime de les augmenter (ou aberrant et irrationnel de ne pas le faire). Si le réseau est un actif, un capital, alors il faut l'entretenir et le valoriser toujours plus. La preuve est infaillible si l'on admet cette fiction (réseau comme actif) et cette finalité (valoriser du capital). Adoptant cette rationalité et s'appuyant sur des chiffres colossaux, un article consacré à “l'indigence” des budgets routiers est prémonitoire, puisque treize ans avant “la catastrophe”, il anticipe le coût de la remise en état : “Tel est l'enjeu de la partie ; tel est le capital qu'il faut protéger contre une ruine progressive et qu'un seul hiver très rigoureux pourrait compromettre que le coût – alors inévitable – de sa restauration immédiate pourrait s'évaluer à plusieurs centaines de milliards⁷⁴”.

69. De manière exceptionnelle, il est question de capital physique : une estimation du stock du réseau routier d'IDF aboutit à un “capital investi de 150 Mt” (*RGRA*, fév. 1965).

70. “C'est un précieux capital que nous ont légué les générations antérieures et que nous sommes en train de dissiper, si l'on n'y met bon ordre quand il en est temps encore”. Instruction citée dans : E. Cheysson, « La circulation sur les routes nationales d'après les comptages de 1882 », *Journal de la société statistique de Paris* 25 (1884), p. 159.

71. “l'ingénieur ne doit jamais perdre de vue que les routes qui lui sont confiées constituent un capital, qu'il a mission de conserver intact, mais sans l'augmenter ; c'est le sens précis du mot entretien.” Ailleurs, il écrit : “Il y a dans l'entretien des dépenses auxquelles il faut obligatoirement pourvoir, sous peine de compromettre le capital des routes : ce sont celles qui ont pour objet l'approvisionnement et l'emploi des matériaux ; aucune réduction ne peut être consentie là-dessus. (...) La question, en effet, n'est pas tant de faire des routes où la circulation soit aussi économique que possible, que de tirer la plus grande utilité du capital disponible.” La représentation de la matière vue comme capital incorporé au stock s'exprime encore quand le professeur enjoint à ne pas “incorporer (à) grands frais dans les chaussées des matériaux inutiles, qui enfouiraient dans le sol un capital improductif”. Voir : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 387-388, 530.

72. “Si, par négligence ou par des soins mal répartis on laisse amoindrir ce capital, la dépréciation qu'il subit, bien qu'elle ne se paye pas sur le fait, n'en constitue pas moins une dépense supplémentaire, qui peut rester occulte pendant quelque temps, mais à laquelle il faudra pourvoir un jour on l'autre par des réparations extraordinaires. Si, au contraire, la valeur de ce capital s'augmente, par exemple parce qu'on s'est procuré des ressources au-dessus des besoins, les fonds n'ont pas reçu l'application à laquelle ils étaient destinés, et on a emprunté, pour enrichir certaines routes, une partie du fonds commun de l'entretien, aux dépens d'autres routes qui ne sont plus assez dotées et sont exposées à dépérir” : *ibid.*, p. 530-531.

73. On le trouve lors d'une Conférence de presse du 26 novembre 1947 du Sous-Directeur des Routes. Celui-ci affirme qu'il y a intérêt à ne pas trop étaler dans le temps la remise en état, de manière “à ne pas laisser périliter les sections dangereusement détériorées et à sauver au plus tôt un “capital routier déjà très compromis”. Cité dans *PCM* (déc. 1983, p. 35).

74. Selon lui, la reconstruction (hors ouvrages d'art) du seul réseau des RN est évaluée en 1946 par la DR à 500 MdsF. Trois ans plus tard, une évaluation précise de la valeur des trois grands réseaux (hors valeur des terrains, des terrassements et des ouvrages d'art) a été réalisée : 3 348 MdsF (*RGRA*, déc. 1950, p. 53).

La déformation des faits est patente : la dégradation des chaussées par les poids lourds en janvier 1963 est présentée par les défenseurs de la transformation autoroutière du réseau comme une atteinte portée par l'hiver au capital investi. En 1965, le président de la revue *PCM* poursuit ce raisonnement dans une réflexion sur la ruine du réseau causée par l'hiver 1962-63 et le besoin d'investir⁷⁵. Il s'agit, encore, de mettre la pression en faveur d'une politique de transformation matérielle du réseau – qui n'a pas encore été décidée – en la justifiant par ce nouvel élément : la sauvegarde du capital. La conclusion de l'article est implacable :

“La situation est telle qu'un renforcement généralisé du réseau routier, — véritable travail de rattrapage —, doit être envisagé à bref délai, faute de quoi il faudra dépenser pour reconstruire dix fois plus qu'on aurait dépensé pour entretenir. (...) L'importance de l'effort nécessaire pour la remise en état de notre réseau routier montre que les “économies” réalisées depuis 1940 sur l'entretien, coûtent en fait très cher. Nous avons “emprunté” à notre capital routier des sommes trop importantes et les “intérêts” à payer sont considérables⁷⁶.”

Dans ce cadre, le but de la politique d'entretien⁷⁷ dit “préventif” du réseau renforcé, lancée en 1972, est double : maintenir la libre circulation en hiver et préserver le nouveau capital investi que représentent les chaussées renforcées⁷⁸. Un ingénieur, futur DR, va même jusqu'à présenter le trafic routier comme une consommation de capital : “Le capital que constituaient les chaussées a été progressivement consommé alors qu'il aurait fallu l'accroître pour adapter les chaussées à l'agressivité croissante du trafic⁷⁹”. Lors du cycle d'étude⁸⁰ organisé par la DRCR en mars 1983, après avoir présenté la politique de renforcements coordonnés comme “politique cohérente de remise en état générale puis de maintien du capital investi” (sic), le DR souligne le besoin de “s'organiser comme des services industriels qui ont à gérer un capital⁸¹”.

75. “La conservation du patrimoine que représente notre réseau routier n'est plus assurée : une partie de ce capital est perdue, le reste peut encore être sauvé, mais sous condition d'un effort important et urgent de remise en état. Cette situation critique résulte de la non affectation des crédits nécessaires au maintien du capital, que représente la route.” (*PCM*, mars 1965, p. 13).

76. *PCM* (mars 1965, p. 17).

77. Objectif annoncé dès juin 1964 au Sénat : “L'entretien a pour mission de protéger les investissements anciens et de leur permettre ainsi de réaliser leur rentabilité. Faire des investissements nouveaux, si l'on n'a pas au préalable sauvegardé ceux du passé, ce serait un leurre.” (*Annales de la Voirie*, oct. 1964).

78. Quelques exemples : le DR affirme que la nouvelle politique d'entretien trouve son origine dans la nécessité de préserver un “capital routier menacé” (*RGRA*, oct. 1977, p. 5) ; “le renforcement constitue un préalable à la réalisation de tout entretien préventif, mais son efficacité ne se prolongera dans le temps que si, ultérieurement, l'entretien effectué est suffisant” (*PCM*, sept. 1972, p. 57) ; il est “beaucoup plus coûteux de réparer les dommages une fois qu'ils se sont produits que de veiller à maintenir toujours les chaussées en état de supporter le trafic sans dommage” (*RGRA*, oct. 1977, p. 6). Ou encore : “lorsqu'un pays a consenti un effort important d'investissement pour la construction de nouvelles routes et la rénovation des chaussées existantes, il est naturel qu'il se préoccupe de la conservation de ce capital” : M. Boulet, *Les études d'auscultation des chaussées pour la programmation des travaux d'entretien et de renforcement du réseau routier français*, Rapport des laboratoires, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1983, p. 30.

79. *PCM* (sept. 1972, p. 57).

80. Depuis 1954 la DRCR organise, avec une périodicité variable, des cycles d'études centrés sur une question jugée importante. Préparés par un groupe d'Ingénieurs qui présentent des études préalables, ils groupent pour des exposés et des discussions des auditeurs très nombreux, comptant en particulier tous les DDE.

81. *RGRA* (déc. 1983, p. 77).

L'impératif du capital à préserver et à fructifier est accompagné par le développement des calculs de rentabilité des travaux routiers. Ceux-ci, réalisés dans une nouvelle cellule économique créée en 1956 par la DRCR afin de renforcer la fonction de calcul économique dans son administration⁸², s'inscrivent dans la longue histoire des ingénieurs des Ponts et Chaussées avec ce type de problème⁸³ et la question connexe du monopole naturel sur les travaux publics⁸⁴. En 1961, la DRCR organise un cycle d'études centré sur "la rentabilité des investissements routiers". Le rapport définitif est publié dans la foulée ainsi qu'une instruction sur les calculs de rentabilité appliqués aux investissements routiers⁸⁵. Le but est toujours de convaincre le Ministère des Finances d'augmenter les crédits. Alors que les grands chantiers n'ont pas encore commencé, la revue *Travaux* produit une analyse économique qui intègre un essai d'étude de rentabilité⁸⁶ qui conclut que "les renforcements de chaussées semblent se prêter beaucoup mieux que l'on pourrait le croire jusqu'à présent aux calculs de rentabilité". L'étude propose, en plus de 35 000 km de RN, de renforcer 100 000 à 150 000 km de routes départementales d'ici 1985. En février 1981, une réflexion est engagée dans le cadre d'une étude interministérielle de rationalisation des choix budgétaires (RCB⁸⁷) pour déterminer quel rythme il convient de donner au programme compte tenu de ses avantages⁸⁸. L'étude est largement déterminée par l'analyse néoclassique coût-bénéfice, et la rentabilité économique tient uniquement compte des effets "qui ont pu être traduits en termes monétaires⁸⁹". Les taux de rentabilité pour la collectivité (entreprises, usagers, État) sont présentés comme exceptionnels pour un investissement public, et d'importantes relances de la politique des

82. N. Neiertz, *La coordination des transports en France : De 1918 à nos jours*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Histoire économique et financière - XIXe-XXe, Institut de la gestion publique et du développement économique, 1999, p. 285.

83. Ceux-ci recherchent, par exemple, des "lois économiques" à propos de la fatigue d'une route, s'interrogent sur la taxation des véhicules les plus destructifs, le besoin de taxes différenciées suivant les véhicules et leur chargement, etc. Les problèmes très concrets (modes d'évaluation de l'usure des chaussées, la tarification du transport ferroviaire) auxquels ils font face au XIXe siècle les mènent à des concepts et calculs du type néoclassique, calculs dit "à la marge". Voir : *Annales PC* (3ème trim. 1981) ; Simonin et Vatin, *op. cit.* ; Grall, *op. cit.* ; Vatin, « L'esprit d'ingénieur », *op. cit.*

84. Numa, *op. cit.*

85. L'étude de rentabilité envisagée par cette circulaire est essentiellement une comparaison entre les dépenses actualisées à prendre en compte (dépenses d'investissement initial et dépenses ultérieures d'entretien) et les "avantages", également actualisés, concernant la circulation des véhicules (*PCM*, sept. 1964).

86. Celle-ci montre que les renforcements sont d'autant plus intéressants que le trafic est important et qu'ils doivent être réalisés avant 1985 (*Travaux*, nov. 1968, p. 11-13).

87. Les méthodes RCB s'imposent en France à la fin des années 1960. Elles sont issues du *Planning Programming Budgeting System* développée par le Ministère de la Défense étatsunien. Elles sont mobilisées dans le VIe Plan (1971-1975) pour juger des équipements collectifs. Voir : B. Gaïti, « L'érosion discrète de l'État-providence dans la France des années 1960. Retour sur les temporalités d'un « tournant néo-libéral » », *Actes de la recherche en sciences sociales* 201-202.1 (2014), p. 58-71.

88. Le programme de renforcements coordonnés consolidera, en retour, les méthodes RCB. D'après un article de la *RGRA* (jan. 1985, p. 12), il s'agit "du premier programme d'action spécifique permettant : de fixer, dans le cadre d'une politique d'ensemble, des objectifs globaux à moyen terme et des objectifs précis et quantifiés pour chaque année budgétaire ; de constituer un cadre efficace pour les décisions budgétaires en permettant d'évaluer et d'affecter les moyens propres à satisfaire aux objectifs préalablement définis et quantifiés, qu'il s'agisse des ressources financières ou des moyens en personnels ; de fournir un instrument de gestion interne aux services de l'administration".

89. Des données qualitatives, telles les gains de temps et la qualité du service sont exclues (*PCM*, déc. 1982).

renforcements coordonnés sont promues malgré son coût immédiat⁹⁰. Après avoir autant investi, pour renforcer puis pour entretenir les investissements, la représentation de la route comme objet purement économique se trouve ... renforcée. Observons que le sens (ou la finalité) politique du réseau routier, peu importe ce qu'on y inclut, devient secondaire par l'opération de traduction : un capital (fixe), cela s'entretient, point. L'exigence du capital devient, comme nous le montrerons, un verrou redoutable.

4.2.5 Il faut s'adapter

“L'automobile est un véhicule beaucoup plus délicat que les voitures à chevaux. Il renferme dans ses flancs une machine puissante condensée dans un petit volume et actionnée par la vapeur, le pétrole ou l'électricité. Les roues ont des raies très légères et des bandages pneumatiques, sa caisse est posée sur des ressorts multiples. Il exige, par suite, des routes en bon état pour ne pas subir des chocs violents qui apporteraient des troubles dans ses organes, et des routes peu déclives pour ne pas être conduit à exagérer la puissance de l'appareil”, chroniqueur des *Annales des conducteurs des Ponts et Chaussées*⁹¹ en 1899⁹².

Il est exceptionnel de lire dans les archives que les camions trop pondéreux sont inadaptés au réseau, alors que l'inverse est répété dans chaque discours. Jamais les administrations ne discutent de la conséquence logique – réduire drastiquement le flux de poids lourds⁹³. Au contraire : les poids lourds sont le symbole de la vitalité de l'économie, de sa croissance, ils doivent circuler en toutes saisons dans de bonnes conditions ; les prévisions de croissance du

90. “La stratégie du renforcement en une seule phase suivie d'un entretien préventif devrait être conservée sauf cas particuliers. Les routes en attente de renforcement peuvent continuer à ne recevoir qu'un entretien curatif, dans la mesure où le rythme du programme de renforcement sera accéléré comme préconisé ; même ainsi, il faut tabler sur une certaine augmentation de la dépense kilométrique annuelle. Le renforcement des traverses d'agglomération, celui des ouvrages d'art, les travaux d'accompagnement devraient faire l'objet de dotations budgétaires très sensiblement abondées.” (*PCM*, déc. 1982 ; *RGRA*, jan. 1985, déc. 2000).

91. Les conducteurs forment une classe de fonctionnaires intermédiaires entre les ingénieurs des Ponts, qui dirigent et conçoivent, et les agents qui exécutent (piqueurs, cantonniers) : Le Bihan, *op. cit.*

92. Cité dans S. Barles, S. Jardel et A. Guillerme, *Infrastructures de transports routiers, Parcs et trafics automobiles, France, 1900-1970. Etude exploratoire*. Rapport de recherche, INRETS, 2004, p. 11.

93. Nous avons trouvé un seul témoignage qui suggère une baisse de la norme des 13 tonnes. Après la crise de 1973, alors que les produits bitumineux deviennent onéreux, alors que le gouvernement envisage d'augmenter la proportion de routes en béton de ciment, le journal *Chantiers de France*, qui consacre depuis plusieurs mois des articles dédiés à la crise, interroge des représentants du patronat routier. Sa question : “Quelle serait, à votre avis, la charge à l'essieu permettant de sauvegarder pour nos chaussées une longévité suffisante ?” La réponse : “une chaussée a surtout à souffrir de la répétition des passages de poids lourds, c'est-à-dire des essieux les plus chargés qu'elle supporte. Or, une chaussée autoroutière est destinée à vivre assez longtemps ; disons une vingtaine d'année. D'une part, le trafic, en véhicule-jour, va augmenter au cours de ces vingt années ; il augmente actuellement de l'ordre de 7 % par an (...). D'autre part (...), on observe une augmentation du pourcentage de poids lourds. Il est encore de 10 % sur les autoroutes. Parfois 15 à 20 % sur les routes nationales. (...) il est évident que l'on ne peut rien gagner sur les épaisseurs de chaussées, tant que l'on ne modifie pas les conditions de la circulation globale et du pourcentage de poids lourds et, surtout, du poids par essieu. On pourrait, évidemment, supposer que dans les vingt ans à venir, la modification des règles – et notamment des règles européennes – ramène le poids par essieu de 13,5 tonnes à une quantité inférieure, peut-être 10,5 ou 10 tonnes comme il en est question depuis assez longtemps. Dans ce cas-là, évidemment, nous aurons la possibilité de réduire les épaisseurs de chaussées. Mais tant que ce n'est pas fait, nous ne pouvons pas jouer sur l'épaisseur.” (*Chantiers de France*, juil.-août 1977, p. 66).

parc automobile, et du trafic routier, sont sans cesse mobilisées dans les argumentaires pour justifier ou réclamer des plans routiers d'envergure. Lorsque l'hiver n'est pas mentionné et qu'un lien direct est établi avec la hausse du trafic⁹⁴, c'est pour aboutir aux mêmes conclusions. Le facteur explicatif évident est immunisé de toutes les discussions – non seulement il n'est pas question d'y toucher, mais il faut “adapter” le bâti à son développement. Ainsi, lors d'une session au Sénat le 23 juin 1964, soit un an après la “catastrophe”, un sénateur reconnaît que “des dizaines de milliers de ‘deux chevaux’ ont un effet dégradant infiniment moins important que celui d'un seul camion lourd”. Ce raisonnement ne le conduit pourtant pas à exiger moins de poids lourds, mais plus de moyens pour adapter les chaussées à ceux-ci⁹⁵.

L'adaptation technique du réseau à leur présence, par ajout de sous-couches, est décrite comme la suite logique d'une longue histoire. Le récit de l'adaptation, présent dans l'historiographie⁹⁶, ramène systématiquement les causes des ruptures des différents réseaux routiers, tant métaboliques que géométriques, à l'arrivée de nouveaux usagers. Présentons l'argument : depuis que le réseau national existe en tant que tel⁹⁷, il y a toujours entretien et maintenance (sous des formes très diverses⁹⁸). Ce qui provoque du changement, ce sont les adaptations à de nouveaux véhicules. Ainsi, après les divers colliers, charrette ou chariot et l'auto-mobile, l'adaptation du réseau aux poids lourds dans les années 1960 n'est que la nouvelle étape du même processus dont les acteurs permanents seraient l'État et le Corps des Ponts. A chaque

94. “les besoins en renforcement sur l'ensemble des réseaux routiers français sont corrélatifs de l'expansion remarquable de la circulation motorisée lourde, et spécialement du transport de marchandises par camion de plus de 9 t en charge utile” (*Travaux*, LR, 1968, p. 13).

95. *Annales de la Voirie* (1964, p. 210).

96. Partagé au moins implicitement par : Reverdy, *Histoire des routes de France*, *op. cit.* ; *idem*, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.* ; Zembri-Mary, *op. cit.* ; Chauveau, *op. cit.* ; d'après Arbellot, la politique des années 1960, a un précédent historique au milieu du XVIIIe siècle, lorsque la réfection progressive de tous les grands axes routiers du royaume est décidée en même temps que la création de voies entièrement nouvelles capables de supporter un trafic régulier de voitures au galop : G. Arbellot, « La grande mutation des routes de France au milieu du XVIIIe siècle », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 3 (1973), p. 766 ; Alonzo rappelle que l'automobile s'adapte aussi aux chaussées déjà-là (via les pneumatiques par exemple) : Alonzo, *L'architecture de la voie*, *op. cit.*

97. Jusqu'au début du XVIIIe siècle, il faut imaginer les routes françaises comme un ensemble de chemins de terre, tous à peu près équivalents et dont certains ne sont dénommés routes que parce que le trafic à longue distance les emprunte, pour un moment, de préférence aux autres. Avant 1820 ou 1836 (loi sur les chemins vicinaux), il n'y a pas de réseau national, au sens d'un ensemble de voies de transport dont la hiérarchisation et l'articulation spatiale font système, mais des chemins relativement souples, non encore enfoncés matériellement dans le sol. L'objectif des premières nomenclatures (1738 et 1776) consiste précisément à figer ce proto-réseau, à l'inscrire dans l'espace. Les distinctions entre les axes (“grandes routes” ; “routes” ; “grands chemins” ; “chemins royaux” ; “chemins de traverse”) définissent en même temps l'ordre de priorité des travaux. Voir : Arbellot, *op. cit.* ; Guillaume, *Corps à corps sur la route*, *op. cit.* ; Lepetit, « L'impensable réseau. Les routes françaises avant les chemins de fer », *op. cit.* ; J.-M. Goger, « Le temps de la route exclusive en France : 1780-1850 », *Histoire, économie et société* 11.4 (1992), p. 597-618 ; A. Beyer, « La numérotation des routes françaises. Le sens de la nomenclature dans une perspective géographique », *Flux* 55.1 (2004), p. 17-29.

98. Tant au niveau des matières, des outils, de l'auscultation, des savoirs et techniques, que de la prise en charge (préfets, administrations, ingénieurs, cantonniers). Voir : D. Glasson, *Les cantonniers des routes. Une histoire d'émancipation*, Paris, L'Harmattan, 2014.

fois le réseau semble solide⁹⁹, à chaque fois il est abîmé par un nouveau venu, et une nouvelle adaptation est réalisée grâce à l'ingéniosité des ingénieurs.

Ce récit s'appuie sur des faits objectifs qu'il convient d'examiner. Les hippo-mobiles ont des exigences : il faut adoucir les pentes, retirer les rampes trop dures ou adopter des tracés plus sinueux, modifier les pavés pour les chevaux¹⁰⁰. Avec le début de l'automobile, de nouvelles questions émergent – “nos chaussées deviennent insuffisantes, leur tracé n'avait pas été fait pour les vitesses actuelles des nouveaux véhicules¹⁰¹” –, quand d'autres disparaissent (puisque ces véhicules peuvent gravir des rampes de quelque importance sans rupture de charge). Progressivement, des travaux s'attachent à la suppression du bombement exagéré, la réfection des fondations, l'élargissement des chaussées, le changement des types de revêtements, la suppression des points dangereux (passages à niveau), ou la création de déviation autour des agglomérations¹⁰². Les exigences que la circulation automobile fait peser sur les chaussées portent moins sur leur forme que sur leurs fondations et leur revêtement, principaux sujets des premiers Congrès mondiaux de la route¹⁰³. Le macadam est décrédibilisé car il accentue le problème, ancien¹⁰⁴, de la poussière : celle-ci, soulevée par la vitesse des véhicules, multiplie les dérapages, provoque des accidents, gêne les conducteurs et salit les maisons riveraines. Ainsi, la rupture métabolique que constituent les liants hydrocarbonés (et enduits superficiels) est déjà engendrée par l'automobile¹⁰⁵ – des chaussées goudronnées qui ne vont pas sans poser de nouveaux problèmes de glissance¹⁰⁶. L'entretien des routes gagne en prestige lors de la Première Guerre mondiale¹⁰⁷, à laquelle succède de nouvelles

99. Particulièrement au XIXe siècle : “L'empierrement actuel qui ne date guère que de 1775, a cependant duré presque un siècle et demi : il durera encore longtemps car il faudra encore certainement bien des années pour le remplacer par d'autres revêtements meilleurs et aussi économiques.” Heude, *op. cit.*, p. 8.

100. Une chaussée où les pavés deviennent sphériques “est difficile et même dangereuse pour les chevaux, dont les pieds ont peine à se tenir sur une surface bombée” : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 369.

101. Heude, *op. cit.*, p. 7.

102. Voir : *Le Génie Civil* (nov. 1930) ; *RGRA* (mars 1936) ; *Travaux* (mars 1959) ; A. Guillerme, « La congestion urbaine : problèmes et solutions dans l'entre-deux-guerres », dans : *L'automobile : Son monde et ses réseaux*, sous la dir. d'A.-F. Garçon, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 1998, p. 119.

103. Ces congrès seront des lieux importants de transferts de savoirs. Le premier, organisé à l'initiative du Ministre français des travaux publics, se tient en 1908 à Paris : on y discute “lutte contre la poussière”, “la route future”, “les effets des nouveaux moyens de locomotion sur les chaussées”, “les effets des chaussées sur les véhicules”, etc. En avril 1909, est créée l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Routes (AIPCR). Dès le début, le postulat est que la route doit s'adapter à l'automobile : D. Glasson, « Un siècle de congrès mondiaux de la route », *Revue du comité d'histoire du ministère*, “pour mémoire” 3 (2007), p. 7-58 ; Montealegre, *op. cit.*

104. La poussière “gêne les voyageurs et les chevaux, nuit aux propriétés riveraines, rend la route plus tirante, et, si une pluie continue survient, elle se change en boue, et la boue amène des ornières et des dégradations de toute espèce.” rappelle une Instruction pour l'entretien des routes de 1839 : Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *op. cit.*, p. 4-5 ; voir aussi : L. Limasset, *Cours de routes et voies ferrées sur chaussées, chemins vicinaux*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris et Liège, Béranger, 1918, p. 168.

105. *RGRA* (déc. 2000, p. 16).

106. Les premières routes expérimentales en asphalte sont testées à Paris en 1837. Jusqu'aux années 1920, les enduits n'étaient pas mélangés à du gravillon : Harismendy, *op. cit.*

107. La “Voie Sacrée”, qui permet les ravitaillements de l'Est de la France, exige une attention toute particulière. Un militaire soutient que si la route n'avait pas tenu, à Verdun et ailleurs, le poilu, “malgré son héroïsme, n'aurait pas pu tenir”. Plus de 180 000 véhicules circulent dans les zones armées en 1918, où les routes sont en permanence réparées par le service des routes militaires (*RGRA*, déc. 1950, déc. 2000, p. 17-18).

normes de chaussées et un début de mécanisation des chantiers routiers¹⁰⁸. La consommation de goudron passe de 3 kt en 1913 à 520 kt en 1932¹⁰⁹. Alors qu'en 1914, la largeur de la plupart des RN est de 4,5 m, un programme d'élargissement les accroît à 7 m, voire 9 m pour les plus fréquentées¹¹⁰. A la fin des années 1940, si les 80 000 km de RN possèdent un revêtement, seules 40 % des chaussées des routes départementales sont revêtues. Pour ce qui est des sous-couches et du danger du gel, les changements restent minimes jusqu'à l'entre-deux-guerres. L'assainissement du sol de fondation se fait toujours par drainage ou déglaisage, remplacement de la couche sensible au gel d'un terrain par une couche de sable et gravier (figure 3.8). L'adaptation se poursuit après le second conflit : dans le but de fluidifier l'écoulement d'un trafic toujours croissant et pour augmenter les vitesses moyennes, la DR réduit les dos-d'âne, augmente les rayons de courbure des tracés, élargit l'emprise de la voie, relève les virages, atténue les pentes, uniformise la couche de roulement, dote les voies de signalisations, multiplie les dépôts de carburant et les garages de réparation¹¹¹. En première analyse, l'adaptation aux nouveaux véhicules semble permanente, comme une loi de l'histoire.

4.3 Coûteux renforcements

“le problème de l'amélioration et de l'entretien économique des chemins secondaires nécessite à notre avis que les usagers sachent limiter l'emploi des véhicules très rapides et des poids très lourds qui sont (...) les responsables de la destruction des chaussées. C'est la vitesse qui imposera le tapis superficiel de protection sur un gravier stabilisé et bien imprégné qui résisterait parfaitement à la circulation lente. C'est le poids lourd qui imposera d'augmenter l'épaisseur d'une chaussée pour que sa force portante soit suffisante. On peut se demander s'il est bien nécessaire de traiter toutes les voies d'importance de France pour permettre le passage *en toutes saisons* des plus gros véhicules autorisés par le Code de la route, c'est-à-dire l'essieu de 13 t¹¹².”

La nouveauté de 1963 ne tient donc pas à l'hiver, au gel, aux savoirs sur les dégâts des poids lourds, ou aux demandes patronales. Cette configuration prévaut déjà dans les années qui précèdent. Cet événement constitue une crise parce qu'il est matériellement plus marquant mais surtout parce qu'il est suivi d'importants effets : l'infrastructure entre en crise parce qu'elle va être intégralement et fondamentalement transformée (et non pas simplement réparée sur un tronçon). Les exigences portées depuis longtemps par le patronat routier, qui se saisit de cet hiver pour “mettre la pression”, vont être validées par les pouvoirs publics qui souhaitent, en complément des autoroutes, une grande “modernisation” du réseau routier¹¹³.

108. Les routes civiles “bénéficieront” des progrès militaires. L'entretien des routes voisines du front a exigé au moins 27,2 Mt de matériaux entre 1915 et 1918. Il faut encore 10,4 Mt de matériaux en 1919 pour réparer 105 000 km de routes et reconstruire 2 050 ponts : J. Bonnerot, *Les Routes de France*, Les évocations françaises, Paris, Henri Laurens, 1921, p. 150.

109. *RGRA* (oct. 1934).

110. Reverdy, *Histoire des routes de France*, *op. cit.*

111. *RGRA* (déc. 1950, p. 10).

112. *RGRA* (juil. 1950, p. 44, souligné dans le texte).

113. Des programmes d'accélération de la construction autoroutière sont adoptés en 1972, conformément aux recommandations de la DATAR qui est soucieuse de réduire les disparités régionales.

Les objectifs assignés au programme des renforcements coordonnés, qui est décidé en 1965, révèlent la victoire du patronat routier, puisque ses arguments et son cadrage sont intégralement repris : i) préserver un capital routier menacé ; ii) maintenir la possibilité de circuler quelles que soient les conditions climatiques (supprimer les barrières de dégel) ; iii) adapter les chaussées aux nouvelles formes de trafic (trafic lourd et hivernal).

Si l'investissement idéologique a finalement porté ses fruits, encore faut-il que le programme soit appliqué. On ne passe pas d'un hiver glacial à des dizaines de millions de tonnes d'épaisseur sans un immense investissement (monétaire, biophysique, cognitif, technique) de la part des administrations et des ingénieurs – un effort qui souligne l'ampleur de ce programme, et son importance pour l'État. Avant même le début des travaux en 1969, il faut développer une technique adéquate, ausculter pour avoir une idée de l'état du réseau (1965-1967), réaliser des tests sur des chantiers expérimentaux (1965-1968), former les agents, mettre en place les approvisionnements de matières, etc. La seconde infrastructure que forment les LRPC est omniprésente dans chaque aspect de cette prise en charge. Ils innovent, à partir de la technique de stabilisation des sols (chap. 3), en concevant l'ajout d'une couche de granulats traités par un déchet, le laitier (4.3.1). Ce sont eux qui gèrent l'auscultation de tout le réseau, grâce à des engins qu'ils construisent (4.3.2), et qui sont chargés de toute la logistique du chantier (4.3.3). Comme au XIXe siècle¹¹⁴, cette politique d'entretien conduit à une rationalisation très poussée de chaque opération.

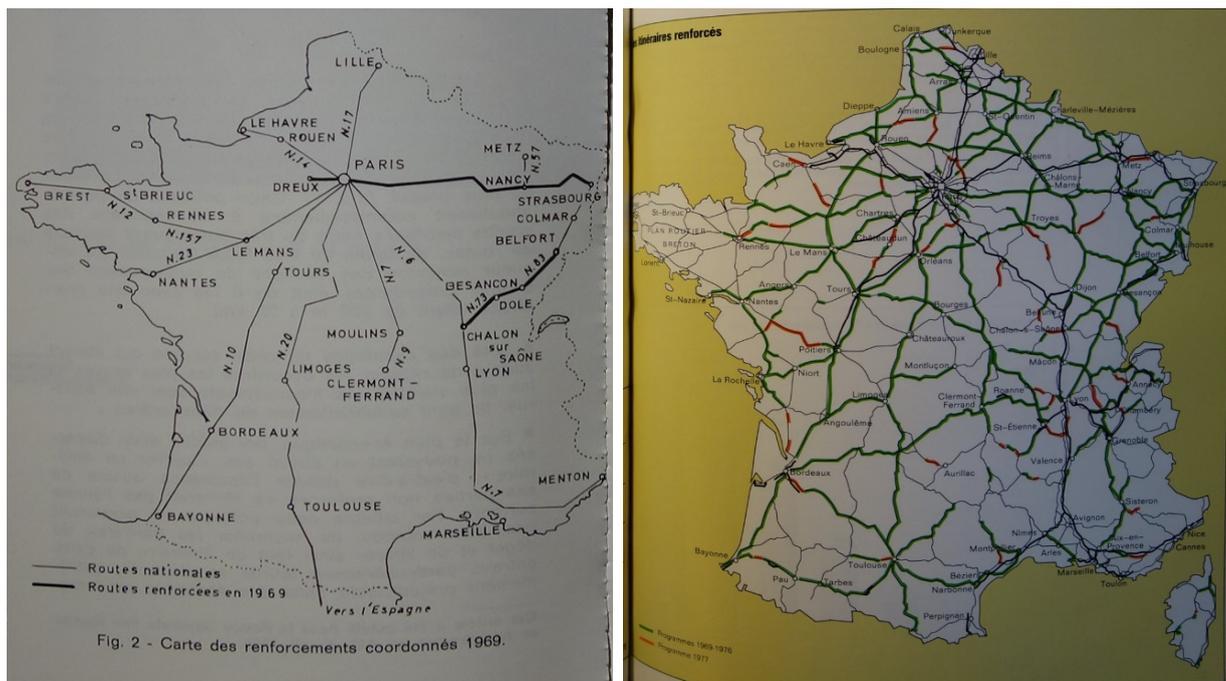


FIGURE 4.5 – Renforcements coordonnés de 1969 à 1976¹¹⁵.

114. Bernard Grall montre que l'histoire de l'entretien routier au XIXe est déjà un processus de rationalisation productive (selon Weber ou Sombart), qui conduit à une ébauche de calcul marginaliste. La rationalisation de l'entretien s'attache à deux variables principales : l'usure de la route et le choix des matériaux. Grall, Bernard. *Économie de forces et production d'utilités. L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891)*. Rennes : Presses universitaires de Rennes, 2003, p. 159-160.

115. Tiré de la revue de la DRCR : *La route en (1970, 1976)*.

4.3.1 Renforcer et innover

Puisque l'alternative d'une baisse des flux de camions n'est même pas envisagée, il ne reste qu'à changer le contenu du réseau lui-même, soit le corps de la chaussée pour améliorer sa portance¹¹⁶. Les partisans d'une grande transformation écartent en effet la possibilité d'un entretien classique (rechargement progressif, enduits, remise en état avec barrières, etc.) pour avancer leur solution : renforcer¹¹⁷. Techniquement, il s'agit de dimensionner les chaussées de sorte que les barrières de dégel soient totalement supprimées ; ou, au moins, libérer l'itinéraire de barrières de dégel pour un hiver dont la rigueur se renouvelle environ tous les 10 ans¹¹⁸. La définition usuelle du renforcement est la suivante : "opération qui consiste à augmenter l'épaisseur et le plus souvent la rigidité des chaussées dans des proportions importantes par l'application d'une couche de matériaux convenablement traités (aux liants hydrauliques ou hydrocarbonés) tout en conservant la chaussée existante." Le programme adopté en 1965 consiste à ajouter sur un itinéraire complet de RN (i.e., de façon coordonnée), une couche épaisse et rigide et une couche de surface – l'ancienne chaussée servant de couche de fondation (voir figure 4.6). Dans la logique d'infrastructure tous terrains (chapitres 2 et 3), les sous-couches rigidifiées suffisamment épaisses permettent d'ignorer l'hétérogénéité du support d'une chaussée, et les sols potentiellement gélifs¹¹⁹. La couche en granulat traité chimiquement symbolise simultanément les opérations d'épaississement et de rigidification, et l'indépendance du réseau de son sol et des aléas climatiques. Au-delà de l'épaississement, il y a élargissement : on normalise la largeur des RN à 7 m pour les routes à 2 voies (et 10,5 m pour 3 voies), et on équipe la chaussée d'épaulements latéraux¹²⁰ (figure 4.6).

116. L'URF avait déjà prédit, lors de l'annonce du FSIR, qu'il ne serait plus possible, "dans les années à venir", de se contenter de refaire "les tapis" : "un gros effort devra être fait qui portera sur la substance profonde de nos chaussées" (*NRC*, jan.-fév. 1952). "Le mal doit être attaqué en profondeur et non en surface" (*Annales de la Voirie*, 1964, p. 210).

117. Tant que l'on se contente d'un entretien curatif, explique un sénateur, on reste engagé "dans un véritable cercle vicieux : l'entretien insuffisant des routes en surface engendre leur dégradation en profondeur, ce qui accroît l'importance des dépenses nécessaires à leur réparation". Comme les crédits augmentent moins que les dégâts, le nombre des kilomètres bénéficiant d'un entretien suffisant diminue. Pour toutes ces raisons, et pour ne plus "perdre d'argent avec des réparations toujours plus coûteuses", parce que "l'entretien des chaussées n'était plus possible, même en accroissant sensiblement les moyens qui y sont consacrés" (*PCM*, sept. 1972, p. 57), la conclusion (celle de l'URF, donc) s'impose, après l'hiver 1963 : "il faut renforcer". Un cycle d'études sur le "renforcement des chaussées" est déjà organisé en 1960 par la DRCR.

118. *PCM* (sept. 1972, p. 58).

119. L'idée prolonge les réflexions entamées sur les chaussées en béton de ciment et des autoroutes. "Les problèmes de mise hors-gel d'une chaussée sont maintenant appréciés beaucoup plus en considération de l'épaisseur totale des couches rigidifiées qu'en considération de la profondeur de pénétration du gel et du caractère plus ou moins gélif du sol-support" (*Bull. liaison*, jan. 1970, p. 15) et (*RGRA*, jan. 1970, p. 29-30).

120. *Bull. liaison* (mai-juin 1969, p. 154-155).

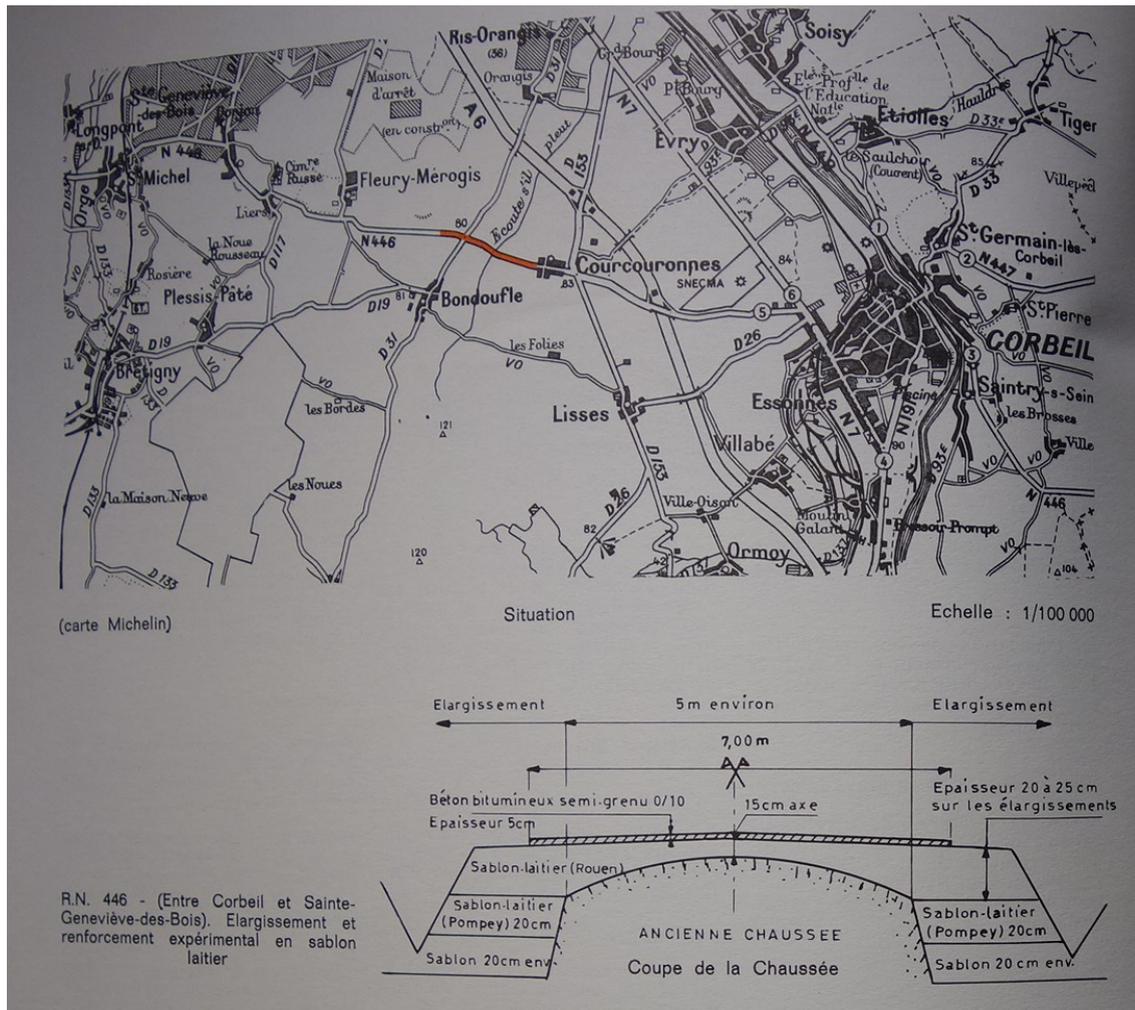


FIGURE 4.6 – Exemple de chantier de renforcement expérimental sur la RN446 ¹²¹.

Comme nous l’avons vu au chapitre 3, l’idée de la nouvelle politique routière, qui vaut déjà pour les autoroutes, consiste *de facto* à bétonner les sous-couches des routes. La différence ici tient au fait que c’est principalement le laitier de haut-fourneau, un déchet de la sidérurgie (chap. 5), qui sert de liant hydraulique et que ce n’est pas le sol mais un granulat (appelé “grave”) qui est traité. Outre qu’elle s’appuie sur la stabilisation chimique, cette innovation provient d’expériences répétées avec le laitier ¹²². Si la technique dite “grave-laitier” (GL dans la suite ¹²³) est pratiquement au point en 1963, le programme de renforcements coordonnés, comme des constructions neuves ¹²⁴, va lui fournir un terrain d’application à très

121. *Bull. liaison* (mars-avr. 1969, p. 36).

122. Dès 1958-1959 il est question des possibilités de traitement des granulats de laitier avec des laitiers granulés. En 1961, des couches de chaussées de sections de l’autoroute du Nord sont réalisées avec du laitier. Des tests sont réalisés en Saône et Loire en 1961 et 1962 (100 kt ont été appliquées).

123. Concrètement, il s’agit d’un mélange, effectué en centrales, de graves à granularité continue et de laitier granulé (chap. 5). La prise du mélange est assurée et régularisée par une faible quantité de catalyseur basique (chaux grasse ou éteinte). Ce traitement est présenté en 1961 par l’ingénieur Erio Prandi, qui multiplie les présentations et articles (*RGRA*, nov. 1962, mai, sept. 1963 ; *Travaux*, fév. 1967).

124. En juin 1968, le SETRA publie une première directive sur la réalisation des assises de chaussée en grave-laitier. Un texte explique que les renforcements doivent être l’amorce d’un programme général d’utilisation systématique de GL pour les travaux d’un département (*Bull. liaison*, mai-juin 1969, p. 158).

grande échelle. L'innovation que constitue la technique de GL est donc issue du transfert d'une technique militaire vers le civil (la stabilisation des sols) et du problème d'entretien d'un objet¹²⁵ – deux caractéristiques courantes dans l'histoire des techniques¹²⁶. La différence essentielle avec la stabilisation au ciment (chap. 3) tient au comportement du matériau stabilisé dans son jeune âge. Comme la prise au laitier est très lente, le matériau reste maniable quelques jours – il est possible de le reprendre, améliorer le réglage sans affecter son évolution ultérieure¹²⁷. Ceci s'avère un avantage : les engins de chantier peuvent circuler immédiatement sur la GL ; le compactage dû à la circulation est favorable ; cette technique est bien adaptée aux travaux sous circulation. De plus, dans un rayon de plusieurs centaines de kilomètres autour des centres de production des laitiers, le prix de revient d'une GL est nettement inférieur à celui d'autres techniques¹²⁸. Cette technique de construction des assises de chaussées se distingue de celle des pays voisins par le fait que pour les trafics moyens ou forts, elle emploie des liants dans la totalité de l'épaisseur de la structure de chaussée¹²⁹.

4.3.2 Ausculter pour renforcer

La crise de 1963 va engendrer d'autres innovations que la GL : la qualification de l'état du réseau par un ensemble d'instruments, d'engins et de métriques nouvelles. La première tâche a consisté en une évaluation générale de l'état des 80 000 km de RN pour permettre une estimation des moyens nécessaires à la conception d'ensemble du programme. Cette première opération cache un double enjeu : conforter l'idée que le réseau devait s'adapter aux poids lourds (et non l'inverse) ; convaincre de la gravité des dégâts au travers d'indicateurs quantitatifs. L'auscultation du réseau par le chiffre sert à la rationalisation de l'entretien : faire en sorte que la prise de décision repose sur un critère "objectif" et soit automatisée. Enfin, cette qualification annuelle de l'état du réseau va encourager la mise en place d'instruments de mesure et de nouvelles techniques pour collecter, entreposer, trier et interpréter des centaines de milliers de données. Ceci aura des effets considérables sur le sens de l'auscultation.

Le paramètre choisi comme critère global d'évaluation est la déflexion¹³⁰. Sa mesure est un enjeu clé (figure 4.7), et place les LRPC au cœur du programme, puisque c'est le critère décisif pour décider du renforcement d'une chaussée et de l'épaisseur à appliquer¹³¹. Les ingénieurs vont s'appuyer sur des appareils déjà en cours de développement pour produire

125. De très nombreux articles présentent le programme des renforcements coordonnés comme moteur de la technique routière et vecteur d'innovation (méthodes, matériaux, matériels).

126. Edgerton, *op. cit.*

127. *RGRA* (mai 1963, p. 101).

128. OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, Organisation de Coopération et de Développement Économiques, septembre 1977, p. 57.

129. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 281).

130. La déflexion au passage des charges en un point est la composante verticale du déplacement de ce point. Ce critère est bien adapté pour estimer la qualité résiduelle des chaussées souples à faible épaisseur d'enrobés qui constituaient la majeure partie du réseau (*RGRA*, jan. 1985).

131. *RGRA* (déc. 2000, p. 88).

un déflectographe¹³², qui sera rapidement breveté¹³³. Cet appareil est capable de mesurer à cadence élevée les déformations verticales de la surface d'une chaussée sous l'action d'une roue de 13 tonnes – qui est, pour rappel, la norme française. Il réalise une mesure de déflexion sous chacun des deux jumelages à l'arrière du camion, qui roule à une vitesse de 2 km/h, tous les 3 à 4 mètres. Les grands rendements (jusque 10 km et 8 000 mesures par jour) dont ce déflectographe est capable le rendent indispensable¹³⁴. L'appareil est sans cesse amélioré¹³⁵, produit en séries¹³⁶ et exporté¹³⁷.

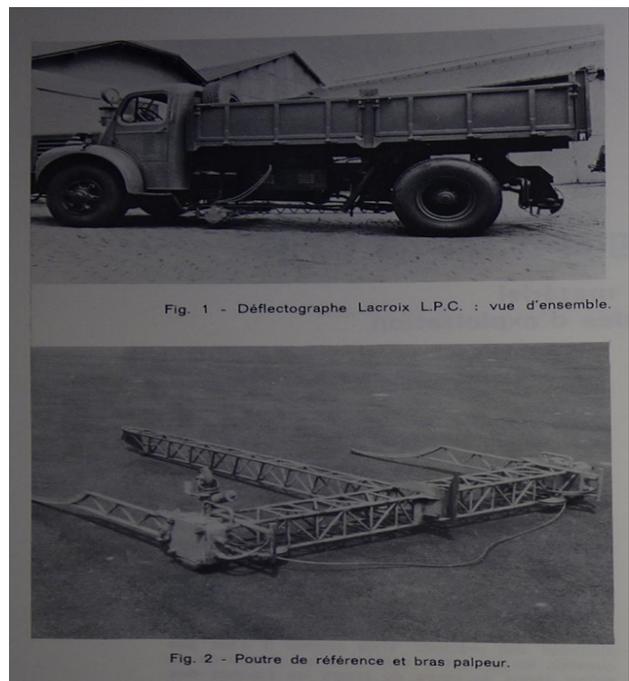
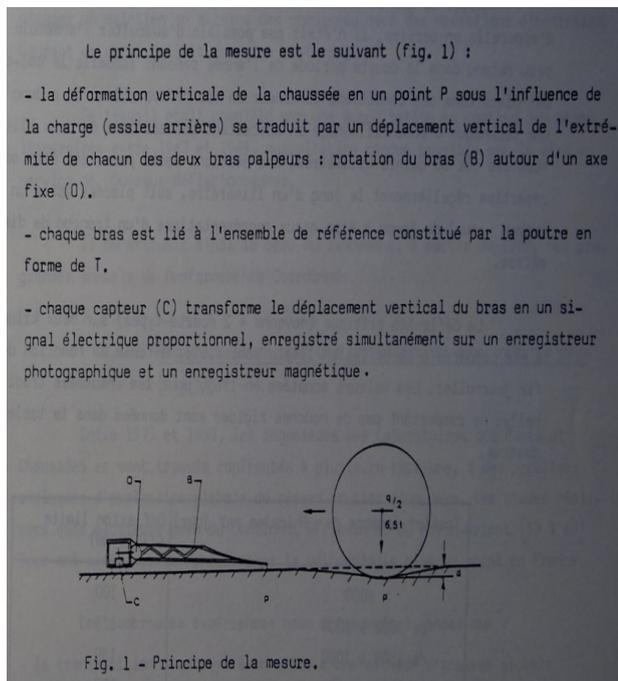


FIGURE 4.7 – A gauche, la mesure de déflexion ; à droite, un déflectographe Lacroix¹³⁸.

Une opération d'envergure inégalée est alors organisée. En 1965, des équipes spécialisées d'auscultation de quinze personnes sont constituées dans huit LRPC, spécifiquement pour

132. En 1956, M. Lacroix, ingénieur des Ponts et Chaussées à Périgueux, publie ses travaux sur un appareil mobile porté par un camion. Un prototype est réalisé en 1956 au sein du Service Ordinaire des Ponts et Chaussées de la Dordogne. Pour son concepteur, "il s'agit d'un appareil bricolé que nous avons cherché avant tout à faire marcher sans trop nous soucier de la signification précise des mesures". Cité dans : Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970, op. cit.*, p. 105.

133. Il fait l'objet d'un brevet des laboratoires des Ponts et Chaussées à la date du 14 novembre 1967.

134. Avec des moyens classiques, une même équipe réalisait à peine une mesure tous les 50 mètres, et jusque 80 mesures par jour (*PCM*, mars 1966, p. 103 ; *RGRA*, mai 1969, p. 67).

135. Vu l'importance de la qualité des mesures, l'appareil va connaître des modifications en vue d'améliorer ses performances et sa fiabilité et va faire l'objet de nombreux débats et controverses chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (*Bull. liaison*, fév. 1967, déc. 1968, mars-avr. 1969, juil.-août 1969, sept.-oct. 1969, jan. 1970, 1971, mai-juin 1972, juil.-août 1972). Les recherches et développements se poursuivent pour mesurer la qualité des chaussées (*Travaux*, LR, 1973 ; *RGRA*, déc. 2000, p. 93).

136. Grâce au Centre d'études et de construction de prototypes d'Angers, les premiers exemplaires en série du déflectographe Lacroix sont réalisés en 1964. On passe de 13 appareils en 1965 à 25 en 1969, et 15 appareils d'un nouveau modèle sont mis en service en 1970-72.

137. En 1972, une vingtaine de ces déflectographes étaient en service à l'étranger (*Bull. liaison*, juil.-août 1972, p. 11-17) et plus de 120 dans les années 1980 (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1988).

138. A gauche : Boulet, *op. cit.*, p. 11 ; à droite : *Bull. liaison* (sept.-oct. 1969, p. 110).

réaliser cette tâche. Pendant deux ans, sous la coordination du LCPC, elles réalisent une campagne nationale de déflexion par échantillonnage¹³⁹ : au total, 45 000 km de route sont examinés (des mesures de déflexion faites sur un échantillon au 2/15). En 1967, la conclusion de ces campagnes tombe : les 2/3 des chaussées sont inadaptées, le reste est menacé à court terme sans intervention¹⁴⁰. L'auscultation du réseau entre 1965 et 1967, dramatisée par le patronat, fournit une base à la Commission des transports du VI^e Plan pour placer la remise en état des chaussées comme priorité du Schéma directeur routier. L'auscultation par les déflectographes ne s'arrête pas là. A partir de 1969, les ingénieurs auscultent avant chaque chantier de renforcement – 12 000 à 15 000 km par an entre 1968 et 1972, principalement lors du premier semestre¹⁴¹. Une telle profusion de résultats entraîne d'ailleurs la nécessité de recourir à des enregistrements faciles à dépouiller, ainsi que le développement de la programmation informatique dès le milieu des années 1960¹⁴². Pour faire face à l'augmentation du volume des informations et améliorer leur valorisation en facilitant leur accès et en assurant l'homogénéité de leur mode de saisie et de stockage, la DRCR crée, fin 1975, la Banque des Données Routières¹⁴³.

L'auscultation remplit officiellement trois missions : évaluer le réseau à renforcer et fixer les priorités ; déterminer précisément les solutions à appliquer sur chaque itinéraire ; alerter sur l'évolution de la qualité des chaussées (neuves ou renforcées) et prévenir sur leurs besoins en entretien. Sous une neutralité technique se cache là une mesure de la qualité du réseau, un travail de qualification, très spécifique : on mesure sa propension à, et prépare sa métamorphose vers, un trafic très lourd. Le déflectographe, qui sert aussi au contrôle de l'exécution des chaussées d'autoroute, participe à la construction de la prise de conscience des dégradations du réseau routier¹⁴⁴ et contribue à naturaliser les besoins en technicisant les enjeux. Surveiller le capital pour le conserver passe par le chiffre.

4.3.3 Logistique des chantiers

Le programme s'étale sur la période 1969 à 1990, avec la partie la plus importante qui est réalisée entre 1970 et 1977 (12 200 km) – du côté des autoroutes, le pic des mises en service se situe entre 1974 et 1980 (2 200 km, dont 579 km en 1976). Les types de renforcement varient selon les années, les zones géographiques et les chaussées¹⁴⁵. Comme cette politique est aussi coûteuse que les autoroutes, elle réclame une planification et une gestion statistique tout

139. Dans les laboratoires, les données d'un tronçon sont représentées sous la forme d'un déflectogramme qui donne une image synthétique de la dégradation de chaque petit tronçon.

140. *PCM* (fév. 1984).

141. Période la plus favorable à l'étude des chaussées puisque les conditions de portance du support sont justement les plus défavorables (*Bull. liaison*, mai-juin 1972, p. 24).

142. *PCM* (mars 1966, p. 104, avr. 1980).

143. Elle contient des informations sur la structure, le trafic et l'état des routes – ce dernier aspect provenant de campagnes systématiques de mesures de déflexion et d'adhérence. Elle est confiée aux Services Régionaux et Départementaux en 1982. Voir : *RGRA* (déc. 1973, avr. 1983) ; *Travaux* (sept. 1984) ; Boulet, *op. cit.*

144. Voir : *Bull. liaison* (déc. 1968) ; *RGRA* (mai 1969, jan. 1985) ; *ibid.*

145. La part des renforcements lourds, dominante au début, décroît régulièrement jusque 1977 pour augmenter ensuite de façon continue. L'explication est qu'il a d'abord fallu "parer au plus pressé" et renforcer les sections les plus dégradées pour ensuite seulement homogénéiser l'état d'un itinéraire en traitant les sections les moins dégradées (*La route en*, 1973, p. 48 ; *RGRA*, jan. 1985, p. 18).

aussi poussée¹⁴⁶. La logistique des chantiers donne une idée de l'importance de la mutation. Elle est accompagnée par une rationalisation de chaque aspect : auscultation du réseau, programmation millimétrée des travaux, suivi minutieux de chaque campagne, normalisation des techniques, mécanisation toujours plus poussée, planification des approvisionnements et stockage des matières.

Aussi cher que les autoroutes

A bien des niveaux, le programme des renforcements est extrêmement important et coûteux. D'abord au niveau de la formation – il faut acculturer les agents concernés à ce type d'opération. Cela passe par des chantiers expérimentaux¹⁴⁷, la diffusion de savoirs par les LRPC¹⁴⁸, des sessions de formation pour toutes les catégories de personnel mises en place par la DR, les stages proposés aux ingénieurs d'arrondissement par le SETRA et le LCPC¹⁴⁹, une riche documentation qui détaille les démarches à suivre pour les services. Ces formations professionnelles restent insuffisantes tant pour les administrations¹⁵⁰ que pour les entreprises¹⁵¹. Les guides et les stages, avec présence d'ingénieurs des DDE, se multiplient pour donner une très grande homogénéité à la réalisation des opérations de renforcements coordonnés.

Les crédits routiers sont en hausse au début des années 1960, mais ils restent en-deçà des attentes du patronat routier puisqu'ils ne permettent pas un renforcement véritable des chaussées¹⁵². Dès 1963, un crédit exceptionnel de 250 MF est accordé pour réparer les dégâts les plus évidents. Une mission de l'Inspection des Finances et de la DR (Coquand) est organisée au premier semestre 1964. Celle-ci fait le constat de l'impossibilité d'évaluer les moyens nécessaires à la remise en état normal d'entretien du réseau. En outre, l'effort de remise en état des 80 000 km de RN, bien plus onéreux que l'entretien courant, est présenté comme insoutenable au vu de l'importance du réseau. Les réunions entre le service des Ponts et Chaussées et l'Inspection aboutissent à des évaluations (subjectives) puisque l'information est jugée "trop sommaire". Elles montrent cependant que les besoins correspondant à l'entretien courant dépassent le double du montant inscrit au budget de 1964 – donc que les crédits routiers doivent augmenter pour réparer les dégâts. Dans ces années 1964-1965, les ingénieurs et administrations des routes doivent multiplier les arguments pour que les "besoins réels" confirmés par des "experts" pèsent plus lourds que l'équilibre budgétaire dans les discus-

146. Les données sont compilées annuellement par la DR dans un épais rapport, *La route en*, qui fournit diverses statistiques (budgets, trafic, etc.) sur les autoroutes (urbaines, de liaison), renforcements coordonnés et la viabilité hivernale. Cette dernière rubrique, illustration de la norme autoroute, présente, année après année, la portion du réseau national sur laquelle il est possible de circuler lors d'un "hiver normal" sans équipements spéciaux. Toutes les autoroutes et 54 % des RN respectent cette norme en 1981.

147. Sur les RN6 et RN74, et dans le département Cote D'Or en 1966-67, ou autour de Trappes en 1967.

148. Ceux-ci livrent des enseignements sur les techniques, les matériaux (sablon-laitier, grave-laitier) et la mise en place du chantier (*Bull. liaison*, mars-avr. 1969).

149. De 1969 à 1972 le SETRA et le LCPC proposent des stages, de un ou deux jours, destinés à une trentaine d'ingénieurs d'arrondissements ayant à préparer et réaliser un renforcement.

150. "Une première évaluation des besoins chiffrait à plus de 23 000 le nombre des journées d'enseignement nécessaires pour environ 7 600 agents de l'administration, 2 500 ingénieurs, 1 400 techniciens et 3 700 conducteurs, ceci sans compter la formation des personnels des entreprises." (*RGRA*, jan. 1985, p. 24).

151. Certaines évoquent la difficulté de recruter des ouvriers qualifiés pour conduire les machines (*RGRA*, jan. 1985, p. 53-54).

152. *PCM* (mars 1965, p. 13).

sions¹⁵³. La solution “renforcement” coûte en effet deux fois plus cher que le “rechargement progressif” – qui épaissit moins, donc ne met pas hors-gel¹⁵⁴. Suite à l’intense travail de la DRCR et des ingénieurs, l’Inspection des Finances est convaincue en 1965 de la nécessité de la mise hors-gel des principaux axes du Nord et de l’Est et juge que l’effort financier est la “condition du redressement”. En 1965, la DRCR reçoit la mission de procéder au renforcement de 30 000 km de routes et le transfert des RN secondaires vers les départements (54 000 km entre 1972 et 1975¹⁵⁵) est décidé, dans un mouvement strictement inverse à celui de 1930¹⁵⁶. Les crédits routiers nationaux sont multipliés par 15 entre 1960 et 1975 (en francs constants, donc en retirant l’effet de l’inflation, la croissance est de 750 %) dont une part très importante pour les renforcements coordonnés. Dans le budget de la DR, qui ne cesse d’augmenter, la part attribuée au programme des renforcements est stable (souvent entre 9 et 12 %). En 1975, année record, lors de laquelle 2 530 km de route sont renforcés, 17 % du budget est dédié à cette politique – le montant absolu dépasse même celui de la construction d’autoroutes en rase campagne (qui connaît alors sa meilleure saison¹⁵⁷). Même ramené au kilomètre, le coût des renforcements double entre 1970 et 1975, avant de se stabiliser¹⁵⁸. Jusqu’en 1976, les dépenses pour les deux programmes sont du même ordre.

Approvisionnements

La DR décide, plusieurs années à l’avance, des itinéraires complets à renforcer, selon la position géographique et les priorités économiques¹⁵⁹. Ceci explique que la RN4 soit le premier grand itinéraire renforcé : une route qui relie deux villes importantes économiquement, Paris et Strasbourg, qui traverse des régions où le gel est important¹⁶⁰ et la Lorraine, principale région productrice de laitier¹⁶¹. Le renforcement d’un itinéraire est suivi par les programmes de viabilité hivernale et des programmes d’équipement de la route (en particulier pour la sécurité). Les interventions sur les chaussées qui attendent renforcement sont, elles, réduites au strict nécessaire. Dans l’idée de préserver le nouveau capital, il est décidé de soumettre chaque itinéraire renforcé à un programme d’entretien préventif quatre ans après son épaississement : les RN renforcées en 1969, comme la RN4, bénéficient ainsi d’un entretien préventif à partir de 1972¹⁶².

153. *RGRA* (oct. 1977).

154. Boulet, *op. cit.*

155. Les départements de la Seine ne sont pas concernés (*La route en*, 1976).

156. “Les chaussées des routes nationales secondaires classées dans la voirie nationale dans les années 1930 étaient dans un état de quasi-abandon” dira le DR (*RGRA*, jan. 1985, p. 7).

157. 1 150,5 MF contre 900 MF pour les autoroutes (qui connaîtront leur année record en 1976).

158. *RGRA* (jan. 1985, p. 19).

159. L’ordre de priorité est fixé par l’instruction du 2 janvier 1970 de la DR du ministère de l’Équipement – celle-ci privilégie les opérations les plus rentables, c’est-à-dire les régions les plus développées.

160. De 1965 à 1968, la RN4 reste fermée en moyenne 10 jours par an à la circulation lourde. La RN4 est sans doute la route nationale la plus affectée à l’hiver 1963. Pourtant, lors des “journées techniques de la route” tenues à Metz en mai 1953, cet itinéraire n’est pas jugé trop mauvais – il ne demande “qu’un aménagement d’ensemble, sans modification fondamentale de leur tracé ou de leur structure” (*Travaux*, août 1953, p. 411).

161. Voir : *RGRA* (avr. 1969) ; *Bull. liaison* (mai-juin 1969) ; *PCM* (déc. 1969).

162. *RGRA* (mai 1976).

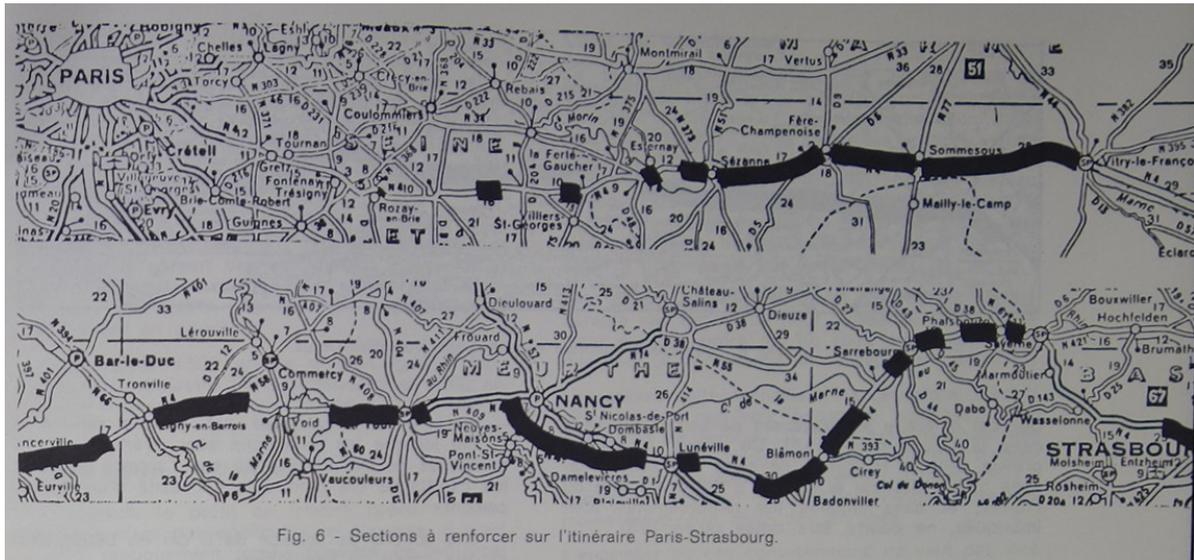


FIGURE 4.8 – Tronçons à renforcer sur la RN4 Paris - Strasbourg¹⁶³.

Une fois que la DR sélectionne les routes à renforcer, chacune est découpée en petits chantiers (quinze environ sur la RN4 au printemps 1969). Nonobstant la diversité des configurations, chaque opération est rationalisée et standardisée à l'extrême pour répondre aux cadences. L'exécution d'un chantier demande une programmation et un ordonnancement méticuleux. Un programme pluriannuel est établi : auscultation déflectométrique en continu des itinéraires retenus et recherche de gisements de granulats effectué à l'année $n-2$; choix de la technique et du dimensionnement (épaisseur), d'après le dépouillement des déflexions et d'autres renseignements (nature du sol de fondation, état apparent de la chaussée), au cours des années $n-2$ et $n-1$; préparation des marchés et des approvisionnements pendant l'année $n-1$; exécution des travaux lors de l'année n ¹⁶⁴. Le chantier commence par les travaux préparatoires : dessoucher et abattre les arbres qui bordent les routes pour créer surlargeurs et épaulements (4 500 arbres abattus pour la RN4), rectifier des virages, aménager des carrefours, travaux d'assainissement. Le chantier est réalisé par demi-chaussée, la circulation maintenue sur l'autre moitié.

Voici le portrait-type¹⁶⁵ d'un chantier de 30 à 35 km¹⁶⁶. Le coût varie de 25 à 40 MF (1983) pour cinq à huit mois de chantier. Les besoins en matériaux, de 150 à 400 kt en un délai court, imposent des cadences élevées journalières de fabrication et de mise en œuvre (plusieurs milliers de tonnes par jour). Les besoins énormes en granulats – environ cinq tonnes par mètre linéaire – encouragent les ingénieurs à une gestion complète des approvisionnements et les

163. *Bull. liaison* (mai-juin 1969, p. 153).

164. Voir : *Bull. liaison* (mai-juin 1969) ; *PCM* (déc. 1969, p. 66).

165. Un exemple confirme cet idéal-type. En 1981, la RN81 Nevers-Decize est inscrite au programme de renforcements coordonnés. Cela fait suite à de nombreux dégâts à l'hiver 1978-1979 dont la cause est, à nouveau, rapportée à la gélivité très importante du sol support. Ici c'est la grave-ciment qui est choisie en raison de la proximité d'une unité de production des *Ciments Français* (*PCM*, déc. 1982, p. 45). Les travaux ont lieu entre juin 1981 et juillet 1982. Le chantier consiste à calibrer la chaussée à 7,6 m sur les 33 km de la section. En ce qui concerne les granulats, le choix est déterminé par la géographie : les matériaux éruptifs en provenance du Morvan situés à une cinquantaine de km du chantier ; les matériaux de Loire situés sur place. Au total le petit tronçon coûte 33 MF (soit 1 MF/km), 200 kt de GL et 40 kt de béton bitumineux.

166. *RGRA* (jan. 1985, p. 12).

Outre le granulats, il faut 20 à 30 kt de laitier par chantier. Or, si l’approvisionnement ne pose pas de difficulté pour les ciments et bitumes, ce n’est pas le cas pour le laitier dont la production est spatialement très concentrée¹⁷¹. Il est nécessaire de mettre en place une organisation centralisée pour gérer de façon rationnelle les transports par train. Les approvisionnements sont effectués en totalité par l’Administration (la DR créée à cette fin la Commission nationale des laitiers en 1970), de façon à ce qu’au début des travaux de fabrication et de mise en œuvre, des stocks très importants soient constitués¹⁷². En 1975, un million de tonnes de laitier sont destinées aux seuls renforcements. Ceci est spécifique à la France : le développement de la GL y “a pris une telle ampleur que l’on peut craindre que les ressources de laitier soient insuffisantes pour satisfaire les besoins routiers¹⁷³”.

Rationalisation

Vu l’importance du programme, la recherche d’une grande simplicité dans l’exécution est recommandée – qui résulte en un petit nombre de techniques. L’auscultation conduit à l’établissement d’un “schéma d’itinéraire”, document de synthèse qui constitue la base du projet de renforcement. Il réunit tous les résultats des observations et des mesures : déflexion, historique de l’entretien effectué, constitution de la structure, état visuel de la chaussée¹⁷⁴. L’épaisseur de la couche de forme dépend de la mesure de déflexion, qui transforme l’entretien en opération paramétrique. Une route avec sol de fondation W, trafic X, et déflexion Y, reçoit le traitement Z¹⁷⁵. A partir de 1971, des catalogues des structures de chaussées sont édités par le SETRA, avec pour principe de “proposer aux ingénieurs projeteurs des structures précalculées et testées par l’expérience, en les libérant de certaines tâches fastidieuses de calcul qui se sont parfois substituées à une réflexion en profondeur”. A chaque combinaison des paramètres correspond un certain nombre de fiches décrivant chacune une structure¹⁷⁶.

Les renforcements coordonnés donnent naissance à “la méthode française de dimensionnement des chaussées”. A partir de 1968, toutes les techniques de chaussées sont codifiées dans diverses Directives et Recommandations du couple LCPC-SETRA précisant les modalités de formulation des mélanges, de fabrication et de mise en œuvre. L’abondance de publications montre l’ampleur du processus de normalisation¹⁷⁷. A travers ces prescriptions transparaissent des exigences de qualité et d’homogénéité nécessaires aux travaux exécutés

171. Quasi-exclusivement en Lorraine et NPdC (chap. 5).

172. La totalité du laitier granulé, au moins les 2/3 des granulats (*PCM*, déc. 1969, p. 67). La demande en liants fluctue : une circulaire qui suit le second choc pétrolier préconise d’utiliser moins de bitume dans les travaux routiers (le total passe de 2 Mt en 1974 à 0,4 Mt en 1983).

173. OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, *op. cit.*, p. 57.

174. Boulet, *op. cit.*

175. Si au début du programme une couche de 20-25 cm de GL est recommandée pour la mise hors-gel d’une route nationale fréquentée avec déflexion supérieure à 2 mm, cette épaisseur est rapidement appliquée à une déflexion dépassant 0,75 mm (*Bull. liaison*, 1967, p. 266 ; *PCM*, déc. 1969, p. 66).

176. Chacune des neuf fiches contient les indications des matériaux nécessaires aux différentes couches, leurs avantages et inconvénients. Les préconisations vont varier au cours du temps : petit à petit les ingénieurs encouragent une augmentation des épaisseurs et une meilleure prise en compte du gel.

177. En 2003, un recensement général des documents traitant du dimensionnement des chaussées fait apparaître vingt-neuf guides ou catalogues de structures de diverses origines. Voici quelques exemples : SETRA et LCPC, *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-ciment*, 1969 ; SETRA et LCPC, *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-laitier et sables-laitier*, 1973 ; DRCR, *Directive pour l’exécution des renforcements de chaussées*, septembre 1976 ; R. Sauterey et P. Autret, éd., *Guide d’auscultation*

sous circulation, à très grande cadence¹⁷⁸. Il est intéressant de relever, puisque c'est un signe évident de rupture avec les années 1950, que le Catalogue de 1977¹⁷⁹ ne contient plus d'assises de chaussées en grave stabilisée mécaniquement et que celle-ci est dénommée grave "non traitée"¹⁸⁰. L'entretien préventif sera également standardisé sous forme de tableaux qui expliquent quand et comment intervenir, selon le type d'opération.

4.4 Adaptation au Fordisme

“Cette priorité donnée par le capitalisme monopoliste à l'automobile n'a fait que se renforcer par la suite : l'urbanisme doit être subordonné aux exigences de la motorisation (...) la motorisation individuelle devient un besoin social : l'espace urbain étant organisé en fonction de la motorisation privée; les transports en commun prenant un retard croissant sur l'éloignement des banlieues ou des lieux de travail; le piéton ou le cycliste devenant un danger pour autrui et pour soi-même; les équipements sportifs et culturels étant expulsés de la cité, hors de portée du banlieusard non motorisé et même souvent des habitants du centre, etc., la disposition d'un moyen de transport individuel devient un besoin prioritaire en raison de l'organisation de l'univers en fonction de la motorisation individuelle. Ce processus n'est plus que difficilement réversible dans les pays capitalistes avancés : dans la mesure où la priorité à la motorisation individuelle a rendu la vie intenable dans de grandes agglomérations¹⁸¹.”

Les choses semblent claires du point de vue de l'époque. Un coûteux programme de transformation du réseau routier a été mis en place pour faire face à la hausse du trafic. Les ingénieurs ne font qu'adapter le réseau à de nouveaux usagers, et cette opération s'inscrit banalement dans une longue histoire d'adaptations (4.2.5). Ce récit, qui vient valider une causalité mécanique, indéniable en première analyse, n'est pas satisfaisant en ce qu'il sépare le réseau et ses usagers des structures sociales. Même en ajoutant le lobbying du patronat routier, il reste insuffisant : comment expliquer, sans tomber dans les explications anhistoriques ou psychologiques (goût inné pour la vitesse, technophilie du genre humain), l'apparition pendant le Fordisme de navires plus grands, d'avions plus rapides, de voitures plus lourdes ? Peut-on faire abstraction de la consommation de masse des années 1960 et le rôle spécifique qu'y joue l'automobile ? Avant que la grande transformation du réseau routier ne débute au tournant des années 1960, cet engin est déjà réputé pour ses dégâts et porteur d'une histoire très violente (4.4.1). Nous défendons ici la thèse que le réseau ne doit donc pas s'adapter à

tion des chaussées souples, Paris, Eyrolles, 1977 ; SETRA et LCPC, *Guide technique pour le dimensionnement des renforcements de chaussées souples*, juin 1978 ; Boulet, *op. cit.*

178. *RGRA* (avr. 1983).

179. SETRA et LCPC, *Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves*, *op. cit.*

180. “une chaussée en grave non traitée reste donc toujours assez déformable, sauf à employer de très fortes épaisseurs de graves, ce qui ne peut se justifier sur le plan de l'économie des ressources en granulats et sur celui du coût que dans des cas exceptionnels. Sur de telles chaussées à déflexion relativement forte, les enrobés bitumineux de couches de surface sont soumis au passage des charges, à des extensions d'amplitude telle que si le trafic lourd est intense leur dégradation par fatigue risque d'être rapide.” (*PCM*, déc. 1979, p. 37).

181. A. Gorz, *Stratégie ouvrière et néo-capitalisme*, Paris, Seuil, 1964, p. 84.

des véhicules, dans une correspondance purement technique, mais à tout un nouveau régime d'accumulation centré sur la voiture (4.4.2) et en voie d'internationalisation (4.4.3).

4.4.1 Contre l'adaptation – brève histoire de la violence automobile

Le problème du récit de l'adaptation (4.2.5), c'est qu'il laisse entendre que l'histoire des routes, et de leur entretien, n'est qu'une succession d'améliorations pour accepter le passage d'usagers plus rapides et lourds. Alors que le métabolisme des autoroutes et RN après 1960 va totalement à l'encontre d'un mouvement d'économie matérielle qui dure jusqu'à la fin du XIXe siècle¹⁸², ce récit frôle souvent avec le matérialisme déterministe voire un téléologisme¹⁸³. Son point le plus fragile est qu'il néglige l'incroyable violence de ces adaptations¹⁸⁴ et, par suite, les divers rapports de forces (y compris entre groupes capitalistes¹⁸⁵), et les nombreuses oppositions, présents à chaque transformation. Si les grandes entreprises sont mentionnées, c'est pour leur innovation¹⁸⁶, et non pour leur intense lobbying auprès des ministères. Ainsi, pour rendre intelligible la rupture des liants hydrocarbonés, il paraît nécessaire d'intégrer le

182. Pour la construction des chaussées empierrées, Trésaguet suggère en 1775 des routes de 5,8 m de large et une épaisseur de 47 cm au milieu et 32 cm sur les bords. D'après le cours de Limasset, ces épaisseurs sont démesurées à cause de la mauvaise qualité de la main-d'œuvre des corvées – lors de son abandon (1793), l'épaisseur est réduite à 27 cm. La méthode de Macadam, importée en France dans les années 1820, supprime la couche de fondation et propose une épaisseur de 25 cm. Dès 1839, une instruction sur les méthodes à suivre pour l'entretien des routes décrit comme “complètement inutiles” les “grandes épaisseurs de chaussées qu'on construisait autrefois”. Pour les chemins vicinaux, qui ont un trafic inférieur à une quarantaine de colliers par jour, 6 à 10 cm sont suffisants dans les années 1840. Dans son cours, Durand-Claye explique que l'épaisseur d'une chaussée d'une route nationale peut, et doit, être réduite à une limite très faible. “Il suffit de quelques centimètres d'une croûte solide pour supporter les roues des plus lourds chargements.” En 1891, 42 % des RN ont une épaisseur inférieure à 10 cm. Selon lui, si une épaisseur de 7 à 8 cm est “rigoureusement suffisante” – 20 cm lui paraît une “limite extrême”, voire “exagérée”. Voir : Berthault-Ducieux, *Manuel du cantonnier de chemins vicinaux*, *op. cit.*, p. 18 ; Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *op. cit.* ; Cheysson, *op. cit.*, p. 159 ; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 321 ; Limasset, *op. cit.*, p. 165.

183. Par exemple, Guy Arbellot présente la transformation des années 1970 comme une “nouvelle étape d'une longue évolution dont, après plusieurs tentatives limitées, le véritable démarrage eut lieu en plein XVIIIe siècle” : Arbellot, *op. cit.*, p. 765.

184. Cette histoire est bien documentée dans le cas des États-Unis : Mom et Kirsch, *op. cit.* ; P. D. Norton, *Fighting traffic : the dawn of the motor age in the American city*, Inside technology, Cambridge, MA, MIT Press, 2008 ; C. W. Wells, *Car Country : An Environmental History*, University of Washington Press, 2012 ; G. Kroll, « An Environmental History of Roadkill : Road Ecology and the Making of the Permeable Highway », *Environmental History* 20.1 (2015), p. 4-28.

185. Il existe une compétition entre les univers du ciment et ceux du bitume (chaussées rigides et souples). Un article du patronat des liants hydrauliques dénonce l'asphalte : “Sur les routes meurtrières, supprimons l'asphalte” (*Revue des Matériaux*, juil. 1929, p. 51).

186. Sur l'adaptation du réseau comme vecteur d'innovation pour les grandes entreprises de construction routière, voir : D. Barjot, « Advances in Road Construction Technology in France », dans : *The Economic and Social Effects of the Spread of Motor Vehicles : An International Centenary Tribute*, sous la dir. de T. Barker, London, Palgrave Macmillan, 1987, p. 291-312 ; D. Barjot, « Innovation et travaux publics en France (1840-1939) », *Histoire, économie et société* 8.3 (1989), p. 403-414.

rôle des pétroliers, de COLAS¹⁸⁷, des ligues contre la poussière¹⁸⁸, et d'autres groupes de pression comme l'Automobile Club de France (ACF), le Touring Club de France (TCF¹⁸⁹), ou Michelin¹⁹⁰.

Une évidence historique, passée sous silence par le récit de l'adaptation à l'automobile, doit être rappelée : le réseau routier n'a pas "besoin" de l'automobile¹⁹¹. Avec la construction rapide d'un réseau ferré très dense et, plus tard, le succès des tramways (hippomobiles puis électriques), le nombre de colliers sur les RN baisse¹⁹² et les injonctions à l'adaptation du réseau routier se font moins pressantes. En 1876, on compte une moyenne de 207 colliers par jour sur une route nationale¹⁹³. Dans une conférence à la Sorbonne en 1883, Cheysson¹⁹⁴, qui veut convaincre son public de l'importance des routes et de leur entretien, évoque les sarcasmes à leur encontre : des "voies démodées" qui seraient désormais l'objet "d'étude d'archéologie¹⁹⁵". Il est malgré tout déjà coûteux d'entretenir les RN à cette époque¹⁹⁶. Sur les grandes routes, le nombre de colliers par jour est stable entre 1851 (premier recensement) et 1913¹⁹⁷. En 1911, alors que la matière "automobilisme" est apparue en 1908 dans le cours de l'ENPC, on dénombre 64 000 automobiles pour toute la France, contre 1,6 à 1,7 millions de véhicules à traction animale¹⁹⁸. En 1920, la circulation journalière moyenne sur une RN reste modeste : 47 automobiles, 18 camions, 1,5 bus, 105 vélos et 180 colliers¹⁹⁹. Une première accélération se produit : le parc automobile passe de 337 000 véhicules en 1920 à 936 000 en 1926, et 2 270 000 en 1938.

187. Mis au point en 1920, le brevet français de *COLd ASphalt* est déposé en 1923. Dès 1925, il est utilisé pour la construction de l'autodrome de Montlhéry, vendu en Algérie, en Tunisie, en Belgique, en Roumanie et en Pologne. Colas est rapidement racheté par le groupe Shell (1934). Voir : D. Barjot, « L'innovation, moteur de la croissance : le procédé Colas (1920-1944) », *Histoire, économie et société* 2.1 (1983), p. 41-61.

188. La "Ligue contre la poussière des rues", créée en 1904 par le médecin particulier du prince de Monaco, prône le goudronnage et le bitumage des chaussées que l'État prend à sa charge en 1919 pour ses RN, en 1926 pour les routes départementales. Voir l'excellent article de Harismendy, *op. cit.*

189. Le TCF, fondé en 1890, était à l'origine une importante alliance de touristes cyclistes. Il mène campagne pour faire établir des trottoirs, accotements ou sentiers cyclables le long des sections pavées, et soutient l'ACF dans sa campagne pour le goudronnage des chaussées. Le TCF organise des opérations de dépavage qui bénéficie aux vélos et aux automobiles dans les années 1900. Il n'est en revanche pas intéressé par les autoroutes. Voir : Heude, *op. cit.* ; Reverdy, *Histoire des routes de France, op. cit.* ; Glasson, « Un siècle de congrès mondiaux de la route », *op. cit.* ; C. Després, *Le SETRA de Bagneux à Sourdun et l'histoire tourmentée des autoroutes*, Paris, Presses des ponts, 2014.

190. G. Ribeill, « Du pneumatique à la logistique routière. André Michelin, promoteur de la « révolution automobile » », *Culture Technique* 19 (1989), p. 191-204.

191. Durand-Claye définit une route comme une "voie de communication destinée à recevoir des voitures tirées par des chevaux" : Durand-Claye, *op. cit.*, p. 9.

192. D'après les recensements périodiques de la circulation, le nombre moyen de colliers sur les RN ne cesse de décroître de 1856 à 1876, pour remonter ensuite faiblement jusqu'à la fin du siècle : Reverdy, *Histoire des routes de France, op. cit.*

193. Chiffre calculé sur la moyenne des plus de 4 000 points de comptage. A Paris les voies fréquentées dépassent les 20 000 colliers/jour : Cheysson, *op. cit.*, p. 153.

194. Sur les liens entre Émile Cheysson (1836-1910), Walras et le calcul économique, voir : F. Etnier, *Histoire du calcul économique en France*, Paris, Economica, 1987.

195. Cheysson, *op. cit.*

196. Environ 1,2 Mm³ de pierres cassées chaque année (dont le transport exige 817 000 journées de cheval ou de tombereau), et 18 000 ouvriers sont nécessaires chaque jour à cette tâche : Marx, *op. cit.*, p. 370.

197. *Annales PC* (1931, p. 116-117).

198. Heude, *op. cit.*, p. 27.

199. Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000, op. cit.*

Si l'automobile s'est imposée en France²⁰⁰, on pourrait penser qu'elle était simplement, voire intrinsèquement, meilleure pour la mobilité et que les autres moyens de transport se sont logiquement, ou spontanément, retirés en conséquence. Dans cette perspective, l'adaptation du réseau serait un mal coûteux mais nécessaire. Il n'en est rien. La période qui débute dans les années 1960 constitue une étape supplémentaire de la construction d'un réseau spécifiquement dédié aux véhicules motorisés, à l'exclusion des autres. Cette histoire ne constitue pas un triomphe naturel de cet engin sur d'autres formes de transports. Au contraire, depuis son apparition, la voiture automobile engendre un nombre impressionnant de dégâts, de conflits et de contestations. Au-delà du coût métabolique, on ne peut pas faire l'économie de l'histoire violente de son irruption sous prétexte de gain en vitesse²⁰¹ : démolition des chemins, pollutions multiples, occupation de l'espace, accidents mortels, embouteillages et exclusion des autres usagers. Sans l'appui de l'État, du moins des administrations les plus concernées, et des groupes capitalistes intéressés, elle n'aurait pu s'imposer.

Dès les années 1920, l'intensité du trafic automobile amène des problèmes de circulation, de congestion²⁰², et une grande insécurité routière. La vitesse des véhicules est jugée dangereuse, y compris par des élus²⁰³. En parallèle des dégâts occasionnés, l'automobile exclut aussi les autres modes de transport et discipline les autres usagers. Les lobbys routiers y contribuent activement, *via* des campagnes de propagande qui visent à minimiser les dangers des automobiles²⁰⁴, à culpabiliser les autres usagers pour les blessés et les morts, et surtout à faire de la route un espace réservé à l'automobile²⁰⁵. Les piétons, tués par centaine à Paris

200. Pays au cœur de l'histoire mondiale de ce véhicule. Paris est la ville hôte : des deux premiers congrès internationaux d'automobilisme en 1900 (pendant l'exposition universelle) et 1903 ; du premier congrès international de tourisme et de circulation automobile en 1905 ; du premier congrès international de la route en 1908 (à l'initiative de l'État). Les ingénieurs français sont très présents dans l'AIPCR (dont la présidence va à des Français jusque 1976, dont d'anciens DR comme MM. Rumpfer ou Coquand).

201. Une vitesse toujours accrue (ou le maintien des vitesses en cas de congestion croissante) reste le critère fondamental pour qu'un projet soit retenu. Les "nuisances" comptent bien peu dans les évaluations socio-économiques des projets d'infrastructure de transport : les gains de temps "restent en moyenne l'élément prédominant dans les avantages monétarisés même lorsque sont pris en compte les effets environnementaux et, le cas échéant, les effets indirects sur le développement économique" : *Analyse comparative des méthodes d'évaluation des grandes infrastructures de transport*, n°2005-0353-01, Paris : Conseil général des Ponts et Chaussées, juillet 2005, p. 30 ; en milieu urbain, ces gains de temps représentent couramment plus de 80 % des avantages à en croire les bilans des grands projets d'infrastructure : Héran, « Pour une approche systémique des nuisances liées aux transports en milieu urbain », *op. cit.*, p. 86.

202. A Paris, les 270 000 véhicules couvrent presque la moitié de la totalité des chaussées en 1930. L'encombrement et le problème de la circulation et de la congestion est un sujet de discussion de tous les Congrès Internationaux de la Route de l'entre-deux-guerres. Voir : Guillaume, « La congestion urbaine », *op. cit.*

203. Ainsi, le président du conseil général des Côtes-du-Nord, en 1924 : "Il n'est pas douteux que le passage des autos de touristes rapides, marchant à toute vitesse soulevant sur leur passage des nuées de poussière et projetant une mitraille de cailloux déchaussés, est fatale à vos chemins. L'automobile est moins faite pour aller vite que pour aller longtemps et loin. Il est insensé de mettre en balance la sécurité de nos routes, ainsi que leur conservation, et l'intérêt que peuvent avoir les grands seigneurs de la vitesse à gagner un quart d'heure sur leur parcours". Cité dans *RGRA* (déc. 1996, p. 102).

204. Une campagne publicitaire de l'entreprise Michelin affirme : "un cheval cause plus d'accidents que l'auto" (janvier 1933). Citée dans : Neiertz, *op. cit.*

205. Barles, Jardel et Guillaume, *op. cit.* ; Norton, *op. cit.* ; L. Baldasseroni, « Du pavé bâti au pavé battu : les mobilisations des usagers pour les infrastructures de voirie et leur prise en compte politique, Lyon, années 1950-1970 », *Métropoles* 25 (2019).

(300 par an), sont poussés vers les trottoirs²⁰⁶. En ville, face aux risques de congestion, on élimine les tramways (en particulier à traction animale²⁰⁷), on interdit les véhicules à bras puis les charrettes, on éduque les piétons, et les instituteurs sont chargés d'apprendre aux enfants le respect de l'automobile. A partir des années 1930, alors que le fonctionnalisme de la Charte d'Athènes qui sépare l'espace selon les fonctions d'habitat et de transport s'impose chez certains architectes et urbanistes, commence une lutte pour la construction de voies exclusives aux voitures automobiles : les autoroutes (ainsi que les échangeurs routiers, périphériques et rocades), symboles de cette exclusion des autres usages et usagers. Sa définition de 1955 est explicite : "Voies routières sans croisements, accessibles seulement en des points aménagés à cet effet (échangeurs), réservées aux véhicules automobiles, et sans droit d'accès pour les propriétés riveraines" (voir les exigences géométriques dans la section 2.2.2). Les oppositions contre l'autoroute et la planification urbaine associée à la voiture sont nombreuses²⁰⁸ et parfois surprenantes. Ainsi le Vicomte de Rohan, président de l'ACF, s'y oppose en 1932²⁰⁹, tout comme certains dirigeants²¹⁰. Pendant des décennies, les ingénieurs des Ponts et Chaussées jugent le prix des autoroutes exorbitant ("routes en or") avant de changer d'avis, avec l'arrivée d'une nouvelle génération qui y trouve son intérêt, au début des années 1960²¹¹. Constatant les nuisances (olfactives, visuelles, sonores) des autoroutes, la revue des *Annales de la Voirie* exprime, dès 1970, ses réserves contre une expansion effrénée des réseaux et milite pour une meilleure gestion des communications routières existantes. Un cas intéressant est celui des syndicats. Lors du congrès de la CGT en 1963, le secrétaire général dénonce "le développement de l'industrie automobile [qui] traduit l'apparition d'un besoin objectif nouveau dans la mesure où l'éloignement croissant du lieu de travail et du domicile (joint à l'insuffisance de moyens de transports en commun) oblige de nombreux travailleurs à recourir à des moyens individuels de transports²¹²".

La congestion automobile et, surtout, le nombre de victimes augmentent fortement après 1950 – "l'accroissement continu de la circulation routière porterait en lui le germe fatal de son autodestruction?" interroge le DR, après avoir commenté l'augmentation du nombre d'accidents, et affirmé que la "faute ou l'imprudence du conducteur est toujours à l'origine

206. Voir : Norton, *op. cit.* ; ils sont "mis au pas" dit joliment Guillaume, « La congestion urbaine », *op. cit.*

207. A Paris, les derniers omnibus et tramways à traction animale datent du premier semestre 1913. La longueur des lignes de tramway baisse fortement dans l'entre-deux-guerres.

208. J. Jacobs, *Death and Life of Great American Cities*, New York, Random House, 1961 ; Charlier, *op. cit.* ; E. Alonzo, « L'autoroute urbaine dans les années 60 : entre rejet et fascination », dans : *La Métropole des infrastructures*, sous la dir. de C. Prelorenzo et D. Rouillard, Picard, 2009, p. 27-40 ; Després, *op. cit.* ; F. Héran, « La remise en cause du tout automobile : » *Flux* 119-120.1 (2020), p. 90-101.

209. "je suis hostile à une politique qui amènerait le gouvernement à prélever sur les crédits d'entretien de l'ensemble du réseau routier des sommes importantes en vue de la création de quelques kilomètres de routes de luxe . . . Nos routes nationales, bien entretenues, ne constituent-elles pas de véritables autoroutes ? (. . .) les pouvoirs publics doivent rester fidèles, du moins pour quelques temps encore, à leur programme d'adaptation progressive de nos chaussées aux nécessités actuelles de la circulation". Cité dans *RGRA* (déc. 2000, p. 47).

210. Des réticences existent au sein même du Ministère des Travaux Publics et des Transports, qui privilégie un "bon réseau de qualité et dense" (*PCM*, nov. 1947) ; le ministre Pinay et le DR lui-même avait des réserves vis-à-vis des autoroutes : Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.* ; Després, *op. cit.*

211. Thoenig, *op. cit.*

212. Le choix d'acquérir une automobile se présentait comme une contrainte liée aux modalités d'aménagement du territoire, et non comme un choix de consommation individuel. Par ce biais, la CGT insistait sur la nécessité de répondre à ces enjeux par un changement systémique : Bécot, *op. cit.*, p. 48.

de l'accident²¹³” (sic). A l'apogée économique du Fordisme, on observe une hausse de 300 % entre 1970 et 1975 pour les encombrements ; quatre heures par jour consacrées par les automobilistes à leur véhicule en 1973 ; 2 millions d'heures sont perdues par les automobilistes lors des 15 jours de pointe de l'été en 1975²¹⁴. Dès 1976 les opérations “Bison futé” sont mises en place pour étaler les départs et reporter une partie des flux sur des itinéraires bis en prévenant les automobilistes des bouchons attendus. L'insécurité routière, sujet fréquent dès les années 1920-1930 quand le nombre de morts triple en dix ans²¹⁵, devient dramatique et inquiète dirigeants et ingénieurs – qui continuent à la présenter comme le fruit (“tragique”) d'un comportement individuel (ou d'un chauffard²¹⁶) et non comme un fait social²¹⁷. Le nombre des accidents mortels triple quasiment entre 1945 et 1953, et on atteint les 15 000 morts et 200 000 blessés par an au début des années 1970, apogée de la politique routière. L'intense réflexion (colloques, numéros spéciaux, etc.), la création de services dédiés (centre de la sécurité et des techniques routières au sein du SETRA) montrent l'importance de ce sujet pour la mise en place de la nouvelle politique routière. Comme les arbres en bord de route sont jugés responsables de la mort des automobilistes, ils sont abattus par centaines de milliers²¹⁸. Dans un article rétrospectif de 1983, le vice-président du Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC) reconnaît un “point noir”, après moult célébrations sur la “fabuleuse aventure” de l'automobile et des routes, “nous n'avons pu encore maîtriser la sécurité du système de la circulation routière, ni mettre un terme à l'effroyable holocauste des accidents de la route²¹⁹”.

L'ensemble du patronat routier (transporteurs, constructeurs d'automobiles et entreprises de travaux routiers) contribue logiquement – au sens où c'est son rôle – à promouvoir un réseau adapté à la voiture automobile²²⁰. La norme auto-routière, tant idéale (lieu dédié exclusivement aux auto-mobiles) que matérielle (empilement de couches stabilisées aux liants hydrauliques insensible aux milieux), doit être imitée par le réseau national²²¹, en ce sens

213. *Travaux* (LR, 1954).

214. Voir : *RGRA* (mai 1976) ; *La route en* (1979, p. 43) ; S. Frioux et C. Bonneuil, « Les "Trente Ravageuses" ? L'impact environnemental et sanitaire des décennies de haute croissance », dans : *Une autre histoire des "Trente Glorieuses" : modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*, sous la dir. de C. Pessis, S. Topçu et C. Bonneuil, Cahiers libres, Paris, La Découverte, 2013, p. 41-60.

215. *RGRA* (sept. 1936, p. 419).

216. Un passage du journal de l'URF, probablement rédigé par Gallienne, est affirmatif : “Bien entendu, les automobilistes et eux seuls, “les chauffards”, sont les uniques responsables de tous les accidents” (sic). Il culpabilise dans la foulée les bicyclettes et hippomobiles qui seraient extrêmement dangereuses sur la route (*NRC*, jan. 1951).

217. Pour une étude bourdieusienne de l'insécurité routière : M. Grossetête, *Accidents de la route et inégalités sociales : les morts, les médias et l'État*, Champ social, Bellecombe-en-Bauges, Éditions du Croquant, 2012.

218. De 2,5 millions d'arbres fin XIXe siècle pour 35 000 km de RN, le total atteint 250 000 pour 24 000 km en 1985 (*RGRA*, déc. 2000).

219. *PCM* (déc. 1983, p. 19).

220. Dès 1948, l'URF exige, lors d'une conférence de presse, que l'État lance rapidement des programmes d'investissement routier pour assurer les bonnes conditions de circulation, contribuer au développement économique du pays et remplir le carnet de commandes des entreprises (*RGRA*, juil. 1948). Ces appels se multiplient dans les revues, avec un accent particulier sur deux points : construire des autoroutes (“Construisez des routes ou fermez Billancourt !”) ; moderniser le réseau (“la modernisation du réseau routier sera le témoignage de la vitalité nationale”). Voir : *L'Équipement Mécanique* (oct. 1955, juin 1956).

221. Dans sa conférence de presse de 1963, Gallienne réclame, en plus de la hausse des crédits d'entretien, davantage de fonds pour le programme autoroutier.

qu'il doit être entièrement reconstruit ("modernisé") de façon à supporter le trafic, toujours plus important et plus lourd, en toutes saisons. Au moment où les premières autoroutes sont construites, où d'autres pays investissent des sommes colossales dans de nouvelles routes, la pression devient forte pour "moderniser" le réseau national également. Il faut remodeler le stock de façon à ce que les flux ne rencontrent aucune résistance, là où l'ancienne norme, qui est définitivement abandonnée au début des années 1960, consiste en un réseau qui interdit certains de ses tronçons à quelques utilisateurs trop pondéreux pour quelques périodes de l'année. Cette norme n'était plus acceptable pour les forces sociales dominantes. Cette histoire fournit une autre lecture que celle de l'adaptation – celle de l'imposition difficile et très violente, y compris au travers de constructions matérielles, d'un véhicule et d'un type de mobilité. Une spécificité aux renforcements doit être soulignée : alors que les oppositions sont vives contre la construction de nouvelles autoroutes et la planification urbaine dédiée à la voiture²²², aucun mouvement d'ampleur ne s'oppose à la politique d'entretien (mises à part les réticences liées au coût monétaire, comme celles du Ministère des Finances). On a là une opération bien plus discrète, immunisée par essence, de par sa fonction proclamée, contre les contestations, et qui pourtant accompagne silencieusement une nouvelle pratique spatiale.

4.4.2 Petite reine fordiste

L'âge d'or des politiques routières et de l'AT ne coïncide pas avec le Fordisme par hasard. Si le secteur routier est au cœur de ce régime, c'est aussi grâce à la production des conditions de possibilité de l'auto-mobilisme, en particulier d'un espace auto-mobile adéquat. Quelques slogans dans les revues établissent un lien direct entre la production automobile, qui fait la fierté du patronat, et réseau routier²²³. Si la rupture métabolique est d'abord redevable des poids lourds, la norme auto-routière s'appuie sur les automobiles : c'est leur vitesse qui détermine les tracés, les pentes et courbures, leur nombre qui conduit à des élargissements²²⁴ (section 2.2.2). Le changement du contenu des routes, comme les importations massives de pétrole bon marché, constituent des piliers décisifs du développement du secteur routier et, partant, du régime tout entier²²⁵. *A posteriori*, on constate une grande cohérence entre, d'une part, les importants investissements dans la seconde infrastructure (voir introduction), dont on a vu ici encore l'importance dans la prise en charge de la crise et dans la mise en place des solutions, et, d'autre part, les politiques (auto)routières qui viennent soutenir et encourager son développement.

222. Les sciences sociales et l'écologie politique (Gorz, Illich, Charbonneau) ont accordé une attention soutenue à la "bagnole" et la société automobile dans les années 1960-1970. Voir les références dans Héran, « La remise en cause du tout automobile », *op. cit.*

223. "Construisez des routes ou fermez Billancourt !" (*L'Équipement Mécanique*, oct. 1955) ; "Sans routes modernes, pas d'expansion automobile" affirment Peugeot, Michelin, Renault ou Simca au Salon de l'automobile de 1955 (*NRC*, 1956).

224. La fonction du réseau routier change radicalement par rapport au XIXe : la priorité va à un réseau de longues distances, fait exclusivement pour l'automobile, alors que les routes servaient auparavant aux courtes distances, donc aux déplacements locaux : Zembri-Mary, *op. cit.*

225. Dans le cas des États-Unis, les deux marchandises structurantes sont l'automobile et la maison individuelle d'après M. Aglietta, *Crises et régulation du capitalisme. L'expérience des États-Unis*, Paris, Calmann-Lévy, 1976, p. 136 ; voir aussi : Huber, *op. cit.*

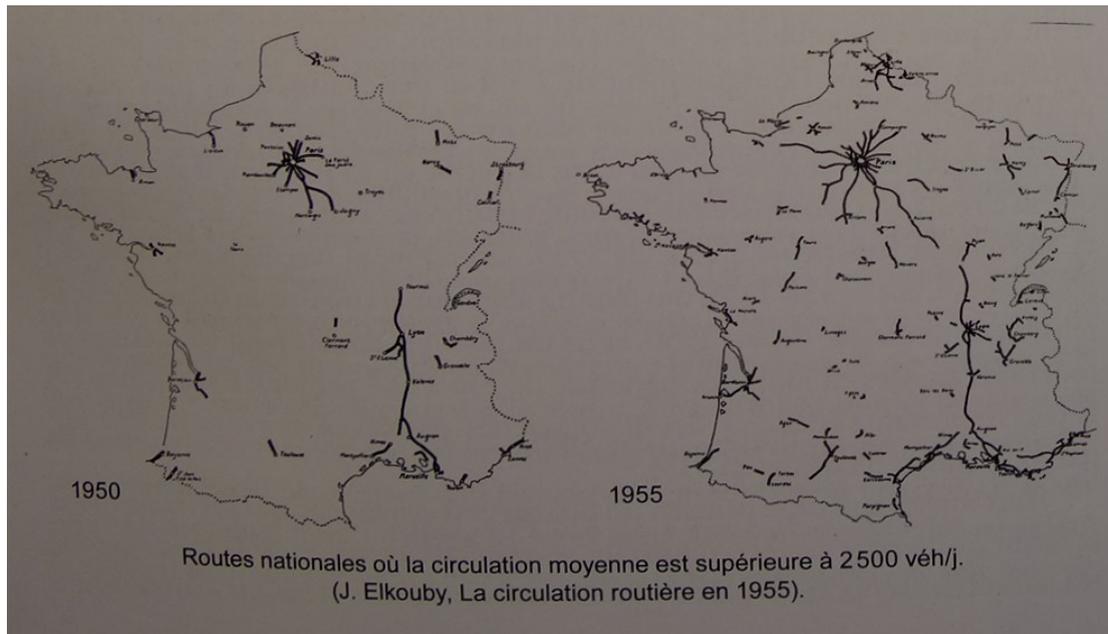


FIGURE 4.10 – Trafic supérieur à 2 500 véhicules par jour en 1950 et 1955 ²²⁶.

Si la croissance du nombre de véhicules avait été relativement forte dans l'entre-deux-guerres, le trafic reste faible jusque dans les années 1950 (figure 4.10) – une route est considérée très fréquentée lorsqu'elle reçoit 4 000 véhicules par jour (souvent à la sortie d'une grande ville). En 1956, Coquand prévoyait une circulation moyenne supérieure à 1 000 véhicules par jour sur 25 000 km du réseau national pour 1960 ²²⁷ (contre 13 000 km en 1950). Le taux d'équipement passe d'une voiture pour quinze personnes en 1955 à une voiture pour trois personnes en 1985. Le nombre de véhicules (légers et lourds, deux roues ²²⁸) en circulation, donc le trafic, explose. Les ingénieurs et la DR renouvellent systématiquement leurs prévisions à la hausse ²²⁹. Jusque 1960, cet accroissement concerne très majoritairement les 80 000 km de réseau national, celui-là même qui sera abîmé à l'hiver 1963, puisque les autoroutes sont encore inexistantes. Les années 1960 illustrent la grande accélération : hausse du trafic routier de 217 % entre 1962 et 1973 ; en 1973, on compte environ 16 millions de véhicules à moteur ²³⁰.

La construction automobile est à la fois l'objet clé d'un régime de désir ²³¹, de la société de consommation de masse ²³², et de tout un régime d'accumulation du capital. Les travaux régulationnistes ont en effet mis en évidence que c'est le secteur industriel où les schèmes

226. Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.*, p. 16.

227. *RGRA* (fév. 1956).

228. Le nombre de poids lourds supérieurs à 9 t double entre 1960 et 1965 (multiplication par 1,76 pour les voitures particulières). Le parc des "deux roues" s'est accru encore plus rapidement de 815 000 (1950) à 6 230 000 d'unités (1958).

229. Ainsi, la DR prévoit, en 1956, un parc de 6,9 millions d'unités en 1965 (*RGRA*, 1956) alors que le total dépassera les 10 millions (*La route en*, 1966).

230. Frioux et Bonneuil, *op. cit.*

231. F. Lordon, *Capitalisme, désir et servitude. Marx et Spinoza*, Paris, La Fabrique, 2010.

232. Elle engendre une nouvelle géographie, une révolution des modes de vie et des rapports sociaux (architecture des villes, infrastructures routières, résidences secondaires, etc.). L. Boltanski, « Les usages sociaux de l'automobile : concurrence pour l'espace et accidents », *Actes de la recherche en sciences sociales* 1.2 (1975), p. 25-49 ; K. Ross, *Rouler plus vite, laver plus blanc : modernisation de la France et décolonisation au tournant des années soixante*, L'atelier des idées, Paris, Flammarion, 2006.

généraux se présentent sous la forme la plus pure – Boyer et Freyssenet désignent ce secteur comme le “noyau fondateur” du compromis salarial fordiste²³³. Le taylorisme, qui engendre les gains de productivité, y est accepté par les travailleurs en échange de hausses de salaires constantes (le partage des gains de productivité bénéficie au capital comme au travail). Ce secteur donne à voir la simultanéité de la production de masse, de profits élevés, de hausses de salaires, et de la consommation de masse (au contraire de la période de l’entre-deux-guerres). La production automobile est explicitement soutenue par le IVe Plan (1962-1965), jugée facteur *sine qua non* du développement économique : pour l’augmenter de 1 200 000 voitures particulières en 1961 à 1 700 000 en 1965, le Plan propose un allègement de la fiscalité sur les carburants, mais aussi la réalisation d’un important programme routier et autoroutier pour améliorer la circulation (puisque une hausse de la circulation routière de 30 % est attendue). La production nationale de voitures particulières passe de 100 000 en 1948 à 1 million en 1959 puis à 2,9 millions en 1973 – elle se stabilise ensuite jusqu’à la fin des années 1980²³⁴. Elle sert beaucoup aux exportations : l’essentiel de l’excédent commercial de la période 1959-1973 a été réalisé par l’industrie automobile²³⁵.

4.4.3 Internationalisation

Le poids lourd est un symbole de l’entrée du Fordisme dans sa phase d’internationalisation²³⁶. Bien au-delà d’une adaptation mécanique aux camions, l’exigence de circulation en toutes saisons révèle deux choses. En premier lieu, l’espace du capital ne peut pas connaître de limite spatiale ni temporelle : des zones ne peuvent pas être coupées des flux de marchandises, la fluidité doit être maximale. Ensuite, en conséquence, le réseau routier doit devenir insensible au climat et à ses effets dans les sols (ici le gel qui menace les chaussées). Si c’est une tâche reconnue impossible, c’est la finalité vers laquelle il faut tendre : “l’âge d’or” de l’AT

233. Il n’est pas inutile de rappeler que les secteurs n’ont aucune raison d’avoir les mêmes propriétés que le régime tout entier. Comme modèle productif, le modèle fordien est défini par le compromis salarial (acceptation de l’organisation du travail contre hausses des salaires) ; une stratégie “volume” ; une politique produit visant à offrir un modèle standard au prix le plus accessible à l’ensemble de la population ; une organisation productive fortement centralisée, mécanisée et cadencée, fondée sur la prédétermination et la standardisation d’opérations élémentaires distribuées entre les postes de travail de manière indépendante et indifférenciée pour saturer le temps de cycle. Voir : R. Boyer et M. Freyssenet, *Les modèles productifs*, Repères, Paris, La Découverte, 2000.

234. Plus de 5 millions d’exemplaires de 2 CV Citroën vendus en France entre 1949 et 1988 : INSEE, *Annuaire rétrospectif de la France. Séries longues. 1948-1988*, 1988.

235. Les exportations de l’industrie automobile sont largement excédentaires (ratio exportation/importation de 1,98 en 1973). Voir : J. Mistral, « Vingt ans de redéploiement du commerce extérieur », *Economie et statistique* 71.1 (1975), p. 23-40 ; B. Balassa, « Export Composition and Export Performance in the Industrial Countries, 1953-71 », *The Review of Economics and Statistics* 61.4 (1979), p. 951.

236. L’internationalisation contribue au succès fordiste, au sens où celui-ci se maintient et s’approfondit, pendant une dizaine d’années avant de le conduire à sa perte. Selon Bertrand, l’économie française entre à partir de 1967-68 dans une phase d’internationalisation rapide de la consommation et du capital fixe productif, caractérisée par une augmentation des effectifs travaillant à l’exportation (+1 121 000 entre 1967 et 1974). La valorisation du capital français se trouve progressivement assurée non plus par la dynamique interne de l’économie, comme c’était le cas jusqu’alors mais par sa dynamique externe. Cette transformation se traduit par une diminution encore plus rapide de la partie de l’activité économique française qui boucle sur elle-même. Voir : Bertrand, « Une nouvelle approche de la croissance française de l’après-guerre », *op. cit.* ; Boyer, *op. cit.* ; Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

consiste entre autres à produire un espace (le réseau routier) qui soit abstrait – ou indifférent aux aspects concrets des sols sur lesquels il repose pourtant (chap. 3). La transformation des RN doit se comprendre dans ce processus, qui n'est pas synonyme, pour le Fordisme, de recul du fret. Le saut quantitatif de la révolution logistique est surtout visible dans les ports.

Anti-rail ?

Les liens rail – route sont si étroits qu'il est impossible de comprendre l'histoire et la fonction de l'une sans faire intervenir celles de l'autre²³⁷. Les politiques publiques qui soutiennent les véhicules motorisés ne font pas que s'imposer en excluant d'autres usagers sur le réseau routier. Ils s'en prennent aussi, *de facto*, au rail et à ses usagers (de manière symptomatique, il est d'ailleurs courant de lire des propos "anti-rail" dans les archives des routes).

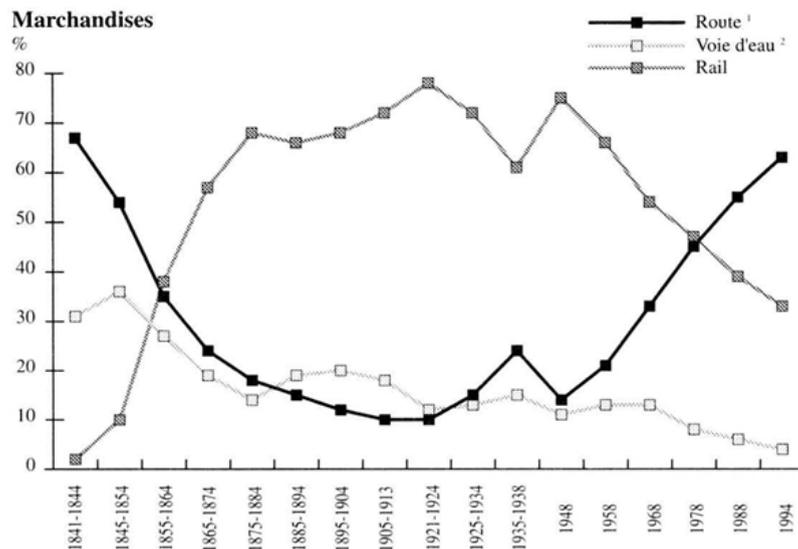


FIGURE 4.11 – Parts relatives du transport de marchandises de 1841 à 1994²³⁸.

La figure 4.11 présente les parts relatives du transport de marchandises sur différents réseaux. Au tournant du XXe siècle, le fret représente plus du double du transport de marchandises sur tous les réseaux routiers²³⁹. Les courbes se croisent en 1971 – i.e., cette année-là le rail et la route ont supporté la même quantité de marchandises transportées. Au regard

237. Voir : H. Cavaillès, *La route française son histoire sa fonction. Son histoire, sa fonction*, Armand Colin, 1946, p. 273 ; à la fin du XIXe siècle, dans un mouvement opposé à celui de la période 1750-1850, l'importance des chemins de fer atténue l'attention pour les routes, y compris chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées – c'est pourquoi ils se représentent l'automobile comme symbole du "renouveau des routes, après une période de décadence" : Heude, *op. cit.* ; Goger, *op. cit.*

238. Neiertz, *op. cit.*, p. 21.

239. L'unité utilisée pour comparer des marchandises transportées est la tonne kilométrique (t x km). Début des années 1880, Cheysson donne les chiffres suivants : 10,8 Mds t x km pour les chemins de fer (24 000 km) ; 1,5 Mds t x km sur les RN (37 000 km) ; 2,2 Mds t x km pour les canaux et rivières (12 000 km). D'après le cours de Durand-Claye : 10,5 Mds t x km pour les chemins de fer (il faut ajouter à ces nombres plus d'un million de tonnes de bagages et messageries et 1 million de têtes de bétail, dont le parcours est indéterminé), 5,5 Mds t x km sur les routes nationales, et départementales et chemins vicinaux (2,75 pour ceux-ci), 3,6 Mds t x km pour les canaux et rivières. Voir : Cheysson, *op. cit.*, p. 155 ; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 6.

des courbes et des archives, on pourrait faire l'hypothèse, qu'une politique de substitution du rail par la route a été mise en place. La thèse du transport par la route comme arme contre le prolétariat organisé a des arguments en sa faveur, dès les grandes grèves de 1947²⁴⁰. Un éditorial de la *RGRA* de l'époque se conclut ainsi : "La grève du rail a causé un grave et immédiat préjudice à notre pays. Mais si elle a réussi à dessiller les yeux à ceux qui ne voyaient pas encore la nécessité d'une politique routière cohérente, peut-être pourrons-nous un jour la considérer comme un bienfait²⁴¹." Une politique de fermeture des lignes de chemin de fer est une demande répétée qui remonte aux années 1950²⁴². Pourtant, le graphique suivant, en valeurs absolues et non pas relatives, vient couper court à cette hypothèse – ou demande qu'elle soit affinée.

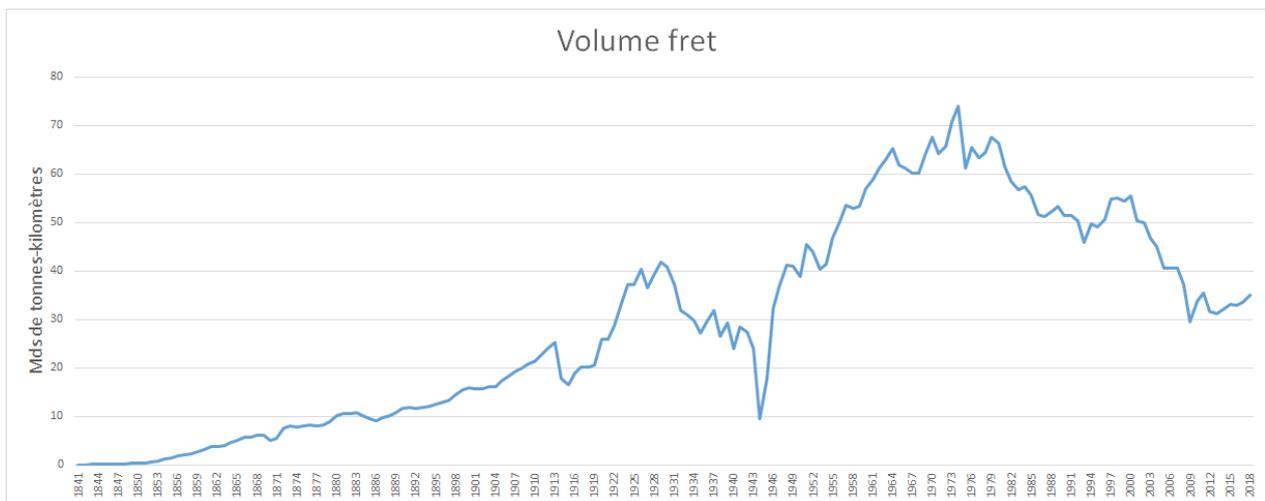


FIGURE 4.12 – Fret de marchandises (en Mds t x km) de 1841 à 2018²⁴³.

Si on se penche sur la décennie 1960-1970, deux faits sont notables : le transport de marchandises par rail domine encore très largement le transport par camions ; surtout le fret de marchandises augmente encore sensiblement jusqu'au milieu des années 1970. Il s'agit donc d'une addition des modes de transport de marchandises plutôt qu'une substitution de l'un par l'autre. Il en va de même pour le transport par voie fluviale : le tonnage-kilomètre progresse de 25 % entre 1960 et 1974. Il y a addition généralisée, mais le transport routier augmente beaucoup plus vite que les autres. Aussi semble-t-il plus pertinent de lire le mécanisme à l'envers : la nouvelle politique routière du début des années 1960 n'est pas le point d'arrivée,

240. Neiertz montre que cette idée est présente chez de nombreux dirigeants, et que les grèves du rail bénéficient aux transporteurs routiers représentés par la Fédération Nationale des Transporteurs Routiers (FNTR). Lors des grèves de 1947-48 et 1953, une vigoureuse politique anti-grévistes est engagée : la FNTR propose à chaque fois son aide aux gouvernements pour affaiblir les cheminots et recevoir le soutien de l'opinion publique. Des dizaines de députés, sénateurs, préfets et ministres assistent aux banquets des clôtures de ses congrès dans les années 1950 : Neiertz, *op. cit.*, p. 296.

241. L'éditorial s'intitule "A quelque chose, malheur est bon" : *RGRA* (juil. 1947, p. 9).

242. Jacques Chaban-Delmas, alors secrétaire d'État aux Transports, avait proposé dès 1954 des fermetures massives de lignes ferroviaires au transport de marchandises – seuls 705 km, sur les 3 000 km prévus, seront fermés jusque 1960.

243. Données SNCF accessibles ici : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/trafic-de-voyageurs-et-marchandises-depuis-1841/>

puisqu'elle est engagée le poids du rail est encore dominant et continue à croître, mais le point de départ. C'est l'existence de cette nouvelle infrastructure, qui ne devient conséquente qu'au début des années 1970, qui permet d'engager des fermetures massives de lignes de chemin de fer et d'établir les conditions du déclin du fret – qui est très marqué à partir des années 1980. L'année 1969, alors que les chantiers autoroutiers sont conduits à un rythme soutenu, marque un changement : le gouvernement autorise la SNCF à fermer 10 000 km de lignes au service de voyageurs et 5 000 km au service de marchandises. Si la route est (encore) plébiscitée comme outil anti-grève par le gouvernement et le patronat après la grève des cheminots de mai-juin 1968, c'est une réforme explicitement libérale (produire la "concurrence entre les modes de transports" ; garantir la "liberté du choix des usagers") qui produit le plus d'effets²⁴⁴. La concomitance avec les politiques routières, qui reçoivent un soutien presque sans limite de l'État, est frappante²⁴⁵. Si le premier choc pétrolier (fin 1973) favorise brièvement le rail, avec une pause dans le développement des transports routiers, un énorme plan de relance en 1974 bénéficie largement aux politiques routières – 1975 est un record pour les autoroutes et les renforcements coordonnés.

Si le fret baisse sensiblement, pour partie à cause de la politique routière, il n'est pas pertinent d'opposer strictement rail et route. Premièrement, la nouvelle norme du réseau routier national peut s'interpréter comme une imitation de celle des chemins de fer : continuité de la circulation jour et nuit, été comme hiver, garantie d'une vitesse moyenne élevée grâce à la facilité de la conduite, à la régularité de l'itinéraire et à l'absence de carrefour, et garantie d'un fort débit horaire lors des pointes horaires ou saisonnières, sur un grand rayon d'action. Ensuite, des faits historiques nous mettent en garde contre une focale trop étroite : des milliers de km de lignes ont déjà été fermés en 1938-1939 ; le programme des fermetures représentait 40 % du réseau mais seulement 2 % du trafic kilométrique de voyageurs²⁴⁶. Enfin, des synergies existent : il n'y a pas d'opposition entre FNTR et SNCF, qui sont souvent partenaires, et l'État (et ses administrations) n'est pas unanimement anti-rail²⁴⁷. Ici encore, c'est l'ensemble des transformations du régime qui fournit l'intelligibilité de la période. Trois autres phénomènes propres aux matières transportées sont fondamentaux dans la baisse du rail à la fin des années 1970. Le premier est lié aux modifications structurelles de l'économie

244. En 1967 paraît un rapport qui promeut la modernisation des moyens de gestion, réexamen des charges de service public, rationalisation des investissements productifs, l'évolution vers la "vérité des prix" et la mise en place de conventions et de contrats pluriannuels. L'État crée les conditions d'un ordre libéral : Ribeill, « Aspects du développement du réseau ferré français », *op. cit.* ; Neiertz, *op. cit.*

245. Plus de 11 270 km de ligne sont fermés, et 6 650 km transférés sur route, entre 1969 et 1972 – et encore 1 863 km entre 1972 et 1988. Au-delà du fret, la rupture consiste également en l'inversion du rapport entre transports collectifs et individuels. Les premiers sont l'objet d'un désinvestissement : le nombre de passagers annuels (hors IDF) chute de 311 à 223 millions en 1973 : INSEE, *Annuaire rétrospectif de la France. Séries longues. 1948-1988*, *op. cit.* ; Mathieu Flonneau, historien membre du *think tank* de l'URF, nuance régulièrement l'idée d'une politique du "tout automobile", ou d'un "urbanisme automobile", prôné par les planificateurs en expliquant que leurs réflexions intégraient les transports en commun : M. Flonneau, « L'action du district de la région parisienne et les « dix glorieuses de l'urbanisme automobile », 1963-1973 », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 3.79 (2003), p. 93-104 ; M. Flonneau, « Redonner de l'avenir à une centenaire : Paris, sa circulation et ses automobiles au cours des années soixante dix », *Revue du comité d'histoire du ministère*, « pour mémoire » 2 (2007), p. 54-68.

246. Neiertz, *op. cit.*, p. 420.

247. La DATAR rappelle que 63 % de la population de plus de dix-huit ans ne conduit jamais et que le chemin de fer tue quatre cents fois moins que la route : *ibid.*, p. 423.

et à la disparition de pans entiers de l'industrie lourde : de moins en moins de charbon et de minerai de fer est extrait et transporté ; une part importante de la sidérurgie est déplacée dans les ports de Dunkerque et Fos, de sorte que le minerai de fer importé voyage beaucoup moins à l'intérieur du territoire métropolitain. Le second est le transport du granulat, matière dont la consommation explose, qui se fait majoritairement par camion²⁴⁸ (chap. 1). Le dernier tient à l'inadaptation du rail aux secteurs de l'industrie légère, de l'agroalimentaire et de la distribution – les nouvelles chaînes globales de valeur favorisent le camion.

Révolution logistique

Le dernier argument qui soutient la thèse d'une adaptation au Fordisme en voie d'internationalisation, et non pas une adaptation mécanique, repose sur l'expansion inédite d'autres stocks clés du commerce extérieur. Si l'internationalisation repose sur la route, notamment les échanges avec les pays signataires du Traité de Rome qui instaure un Marché Commun en 1957, une part grandissante transite par les ports et canaux. Dans les années 1960, le développement industrialo-portuaire est un élément central de la politique économique d'État, dont les intérêts s'alignent avec ceux des entreprises²⁴⁹, notamment au travers des Ve et VI Plans et par le biais de la DATAR. Dans un contexte de forte concurrence internationale pour capter les flux du commerce extérieur, avec Anvers et Rotterdam en particulier, de très importantes extensions sont réalisées dans les Ports Autonomes Maritimes (Le Havre, Bordeaux, Rouen, Nantes, Marseille, Dunkerque et La Rochelle) afin d'accueillir des installations industrielles diverses (pétrole, chimie, sidérurgie, transformation agricole) et des navires toujours plus longs et profonds. Ceci se traduit par la construction de nouvelles industries et nouveaux équipements – raffineries, haut-fourneaux, aciéries, silos géants, terminaux gaziers, darses géantes, portiques de déchargement, etc. – ainsi que les infrastructures pour les desservir et les rendre opérationnelles – autoroutes, canaux, écluses, oléoducs²⁵⁰, gazoducs, etc. Le site de Fos-sur-Mer fournit une illustration paradigmatique de la rupture²⁵¹. La production de l'espace y consiste en une extension et un approfondissement du port existant, dont les bassins ont une capacité d'accueil limitée aux navires de 75 000 t au début des années

248. Ensemble des matériaux de construction transportés en 1962 (et 1975) : 18 (et 29) Mt par rail ; 445 (et 923) Mt par camion : INSEE, *Annuaire rétrospectif de la France. Séries longues. 1948-1988, op. cit.*

249. P. Tourret, « Ports français. Les mutations », *Outre-Terre* 33-34.3 (2012), p. 321 ; P. Tourret, « Les grandes mutations des flottes océaniques, une approche géographique du gigantisme naval », *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies* 90.4 (2013), p. 428-440.

250. De nombreux pipelines sont construits en parallèle des raffineries : Groß et al., *op. cit.*

251. L'extension du port de Dunkerque, pour accueillir des navires de 300 000 t (contre 100 000 t jusqu'en 1975) de 22 m de tirant d'eau, est assez proche. Sa construction inclut : des nouveaux bassins (y compris pour desservir la nouvelle aciérie USINOR) ; un chenal artificiel (qui demande, à lui seul, le dragage de 42 Mm³) ; une écluse pour navires de 100 000 t ; un nouvel avant-port Ouest, à 12 km du précédent, pour navires de 300 000 t ; la liaison entre les "deux ports" Ouest et Est ; un canal à grand gabarit vers Lille et Valenciennes. Diverses industries se sont implantées : raffinerie, une aciérie et un laminoir. Voir : *Chantiers de France* (juin 1976, p. 6, déc. 1981) ; *PCM* (juin 1974, jan. 1977) ; A. Vigarié, « Les ports de commerce français de 1965 à 1983 », *Noréis* 121.1 (1984), p. 15-29 ; M. Magnan, « La production et la gestion de l'espace portuaire à vocation industrielle et logistique. Les grands ports maritimes français : gestionnaires d'espaces infrastructurels », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2016.

1960²⁵², en port en eau profonde afin de recevoir des navires de 500 000 t de forts tirants d'eau (25 à 26 m). Lorsque le port pétrolier reçoit son premier bateau en 1968²⁵³, c'est le seul en Europe qui puisse accueillir les pétroliers de 200 000 t. En 1972, transitent par Fos plus de 47 Mt d'hydrocarbures sur un total de 74 Mt pour l'ensemble des bassins. Au-delà du pétrole et des importations de minerai de fer, Fos vient s'adapter à la conteneurisation, qui croît significativement à partir de 1968²⁵⁴. Au total, plus de 7 500 ha sont produits autour d'immenses darses (celle à vocation sidérurgique est longue de 4 km). La hausse du trafic est du même ordre que celle des poids lourds : il triple entre 1964 et 1979 dans les ports de Dunkerque, du Havre et de Fos²⁵⁵.

Quelques orientations du VI^e Plan dans le domaine des transports mettent l'accent sur les espaces clés de la révolution logistique²⁵⁶, qui caractérise la fin du Fordisme : développer la flotte de commerce, mise au gabarit européen des voies navigables débouchant sur les ports maritimes de Dunkerque, Le Havre et Marseille-Fos, améliorer la circulation sur les axes de la Basse-Seine, du Nord-Pas-de-Calais et de la vallée du Rhône, par des autoroutes, des voies d'eau à grand gabarit, des oléoducs, des aéroports, des dessertes ferroviaires et des centres de conteneurs, accroître la productivité des transports de marchandises, par le développement de l'usage du conteneur²⁵⁷. Les contraintes matérielles des infrastructures se font parfois ressentir : il est quasiment impossible de produire un réseau fluvial pour conteneurs à cause de la contrainte du tirant d'air (hauteur libre sous les ponts qui est très souvent inférieure à 7 m) qui interdit d'empiler les conteneurs²⁵⁸ ; il est impossible de faire passer des grands gabarits du fait de la taille des écluses. Il est remarquable de trouver exactement le même récit pour les canaux que pour les routes : depuis le XIX^e siècle, au moins, ceux-ci s'améliorent sans cesse en s'adaptant inlassablement aux nouveaux usagers modernes²⁵⁹. Les canaux anciens s'adaptent, comme mécaniquement, à la croissance des gabarits des bateaux²⁶⁰. Notre lecture

252. Dès 1932, le Port de Marseille ouvrait l'Étang de Berre à la navigation et accueillait une industrie du raffinage et de la pétrochimie. Très vite, les aménageurs locaux et l'État souhaitent adapter les installations portuaires à la réception des bateaux de fort tonnage.

253. La fascination pour la transformation radicale de ce lieu transparaît dans la description suivante : « plus d'un demi-millier d'engins de travaux publics bouleversent la plénitude originelle mi-aquatique, mi-terrestre du delta du Rhône et de la Crau pour en faire surgir un relief de plans d'eau et de remblais dont on distingue déjà les lignes de force ». Cette transformation est accompagnée par l'arrivée sur l'eau « des masses énormes des pétroliers et des minéraliers » : J. Joly et H. Chamussy, « Géographie du futur engagé : le port industriel de Fos-sur-Mer », *Revue de géographie alpine* 57.4 (1969), p. 832.

254. Des terminaux spécifiques sont construits à Marseille, Fos, Le Havre, Dunkerque ou Grand-Couronne.

255. Vigarié, *op. cit.* ; J.-E. Beuret et A. Cadoret, « De l'analyse des conflits à l'étude des systèmes conflictuels : l'exemple des conflits environnementaux et territoriaux dans les trois plus grands ports maritimes français (Marseille-Fos, Le Havre et Dunkerque) », *Géographie, économie, société* 16.2 (2014), p. 207-231.

256. D. Cowen, *The Deadly Life of Logistics : Mapping Violence in Global Trade*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2014 ; M. Danyluk, « Capital's logistical fix : Accumulation, globalization, and the survival of capitalism », *Environment and Planning D : Society and Space* 36.4 (2018), p. 630-647.

257. Neiertz, *op. cit.*, p. 405.

258. Ceci n'est possible que sur le Rhin, sur le Danube et sur quelques canaux des Pays-Bas.

259. Deux exemples prototypiques : Turret, « Les grandes mutations des flottes océaniques, une approche géographique du gigantisme naval », *op. cit.* ; C. Piquet, « Le canal de Suez face aux évolutions de la marine marchande : un siècle et demi de défis techniques », *Artefact* 10 (2019), p. 175-191.

260. Du petit gabarit au gabarit européen en passant par le gabarit Freycinet (célèbre ministre des Travaux Publics de la III^e République). Les péniches Freycinet font 38,5 m de long et 5,05 m de large. Leur capacité maximale de chargement est de 350 t, avec tirant d'eau de 2,2 m et tirant d'air de 3,5 m. La largeur du bateau de gabarit européen, capable de transporter 3 kt, est de 11 à 23 m.

s'oppose à ce récit. Si les canaux et les ports doivent effectivement se transformer, en l'occurrence s'approfondir, pour recevoir des navires plus grands, c'est pour satisfaire l'insertion internationale de l'économie française. Toutes ces extensions de stocks, essentiels à la logistique des flux, font système dans la phase d'internationalisation et caractérisent le régime d'accumulation.

4.5 Sentier des dépendances – héritages et verrous

La catastrophe de l'hiver 1963 s'avère plus intelligible, *a posteriori*, si on la pense comme la crise d'un réseau qui ne supporte pas l'internationalisation du Fordisme. La pratique spatiale des années 1960-1970 consiste en la production d'une nouvelle norme routière nationale, tant idéale que matérielle, et d'un accroissement des stocks qui accompagne la révolution logistique. Cette dynamique va fragiliser et transformer le régime. Alors que les compromis institutionnels qui le caractérisent, du rapport salarial à la forme de l'État en passant par l'insertion internationale, sont fondamentalement redéfinis, les espaces qu'il a contribués à produire, eux, restent. Un fait crucial que cette section veut mettre en évidence est le suivant. Le Fordisme n'a pas disparu sans laisser d'héritage : d'immenses infrastructures, qu'il faut maintenir et entretenir, lui survivent. Comme la littérature des stocks de matières et les *infrastructure studies* l'ont déjà suggéré, l'inertie matérielle des infrastructures est un fait impossible à surestimer tant il conditionne, de bien des façons, les dynamiques socio-environnementales. Plus que l'héritage d'une masse asociale, c'est l'héritage des dispositifs qui la maintiennent en état pour servir certaines pratiques sociales qui est central. Comme ils forment autant de verrous reliés les uns aux autres, la dépendance au sentier, formule que les économistes mobilisent pour expliquer la permanence de certaines routines²⁶¹, peut être lue comme un sentier des dépendances (techniques, matériels, idéologiques). La pratique spatiale du capitalisme néolibéral ne peut se comprendre sans celle du Fordisme sur laquelle elle s'appuie : non seulement elle hérite des espaces produits, mais des dispositifs qui les avaient engendrés. Comme nous le développons au chapitre suivant, la pratique spatiale d'un régime, la production d'espace qui l'aide à se maintenir, se caractérise par l'ensemble des dispositifs nécessaires à la production d'espace et la gestion des espaces produits. Du fait de son support matériel, la norme automobile, prise dans cet ensemble de verrous, persiste en se transformant dans le capitalisme néolibéral²⁶². La naturalisation des besoins routiers s'est

261. La dépendance au sentier est surtout utilisée en géographie économique et dans la littérature sur l'innovation. Pour une réflexion sur la dépendance au sentier dans l'institutionnalisme historique, voir : A. Labrousse, « L'institutionnalisme historique comme épistémologie pragmatique. Industries, développement, savoirs », Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Picardie Jules Verne, 2018 ; pour l'univers automobile : M. Briggs, J. Webb et C. Wilson, « Automotive Modal Lock-in : The role of path dependence and large socio-economic regimes in market failure », *Economic Analysis and Policy* 45 (2015), p. 58-68 ; Mattioli et al., *op. cit.*

262. Les conséquences socio-environnementales du paradigme de la mobilité centré sur l'automobile personnelle sont bien documentées : T. Gärling et L. Steg, éd., *Threats from car traffic to the quality of urban life : problems, causes, and solutions*, Bingley, Emerald Publishing, 2007 ; Héran, « Pour une approche systémique des nuisances liées aux transports en milieu urbain », *op. cit.* ; le secteur routier engendre 28 % des émissions de Gaz à Effet de Serre françaises, et 26 000 décès annuels prématurés du fait des émissions de particules fines : Bortoli, *op. cit.*

encore accentuée par les postulats, omniprésents dans les années 1990 et 2000, de la libre circulation des marchandises et des bienfaits des réseaux autoroutiers pour l'économie.

4.5.1 Ritournelle de l'hiver

La construction du récit de la catastrophe climatique de l'hiver 1963, et sa diffusion par les médias et les sources gouvernementales, va perdurer jusqu'à aujourd'hui, tant dans des rapports officiels récents sur les politiques d'entretien routier²⁶³, que dans des travaux académiques²⁶⁴. La causalité asociale des dégâts occasionnés par "l'hiver rigoureux" revient périodiquement – en 1984-85 et 1985-86²⁶⁵. Un rapport d'une "mission sur les dégâts occasionnés sur le réseau routier national durant l'hiver 2009-2010" fait état de dégradations importantes sur 1 000 km de RN et 250 km d'autoroutes²⁶⁶. La gravité des désordres a nécessité la fermeture de certaines voies de circulation et des réparations provisoires effectuées en urgence avant la réalisation de travaux de réfection onéreux. Le constat, les arguments et les conclusions des débats sont les mêmes qu'en 1963. L'hiver, "l'évènement météorologique initiateur de ces dégradations" (sic), a abîmé le réseau, qui souffre de crédits d'entretien insuffisants (sauf les autoroutes concédées). Adapter le réseau, disent les rapports, c'est conserver le capital et satisfaire les "besoins" de l'économie. L'URF se saisit de cette publication pour avancer ses demandes d'une politique d'entretien préventif similaire à celle entamée en 1972 : remplacer fréquemment les couches de roulement, pour éviter la pénétration de l'eau dans les chaussées²⁶⁷. Le rapport annuel de l'Observatoire National Routier (ONR) explique que l'hiver 2017, "particulièrement rigoureux", a "entraîné de nombreuses dégradations sur les chaussées²⁶⁸". Le Livre Blanc de l'IDDRIM est clair : la première cause du vieillissement des infrastructures est l'eau et le gel – le camion vient en second. Comme cinquante ans plus tôt, l'hiver sert à "mettre la pression".

4.5.2 Suprématie routière

La victoire de l'automobile à l'ère fordiste ne fait qu'anticiper la suprématie routière de l'ère néolibérale, quand l'infrastructure capable de supporter les trafics est disponible. La politique d'adaptation du réseau à un trafic routier en hausse, ainsi que le lobbying incessant du patronat routier²⁶⁹, n'ont jamais cessé. Après une stagnation début des années 1980, le

263. Un rapport explique que la politique de réhabilitation et d'entretien des routes a été définie "à la suite des dégradations exceptionnelles causées par la rigueur de l'hiver 1962-1963". Plus anecdotique, dans une présentation du Ministère de la Transition écologique et solidaire en 2018, la naissance des politiques d'entretien routier est située à cet hiver et ses "fortes dégradations" : CGEDD, *Rapport de la mission sur les dégâts occasionnés sur le réseau routier national (RRN) durant l'hiver 2009 - 2010*, n°007210-01, Conseil général de l'environnement et du développement durable, novembre 2010, p. 47.

264. Voir : Zembri-Mary, *op. cit.*, p. 172 ; ou, "L'hiver 1962-1963 est en effet particulièrement rude et les routes françaises sinistrées, si bien que les pouvoirs publics prennent conscience de l'insuffisance de leur entretien et de leur modernisation" : Neiertz, *op. cit.*, p. 348 ; Després, *op. cit.*

265. *Travaux* (1987, p. 28).

266. CGEDD, *op. cit.*

267. URF, *Etat de la route en France*, février 2017.

268. ONR, *Rapport 2018*, Paris : Observatoire National de la Route, 2018, p. 5.

269. Les acteurs sont les mêmes : l'URF, FNTR, USIRF (devenu *Routes de France*). Un exemple intéressant est celui de Christian Gerondeau, ingénieur des Ponts et Chaussées qui multiplie les postes de pouvoir dans

trafic augmente de nouveau après 1985. Les Schémas Directeurs de 1988 et 1992 relancent et amplifient les orientations autoroutières, avec la construction de milliers de kilomètres d'autoroutes²⁷⁰ (et autant d'ouvrages d'art). Portée par les concessions et privatisations, la longueur totale des autoroutes passe de 4 862 km en 1980 à 10 000 km en 2000 – en parallèle, de nombreuses autoroutes, déjà jugées trop étroites, sont élargies pour s'adapter au trafic²⁷¹. L'ère néolibérale, malgré des oppositions en hausse, est pleinement autoroutière.

Si leur production a été délocalisée, il n'y a jamais eu autant de voitures en France (86 % des ménages en possèdent une en 2019 contre 79 % en 1998 et 69 % en 1980). Toutes catégories confondues, il existe plus de 48 millions de véhicules en 2019, environ cinq fois plus que lors de la crise de 1963, et qui sont par ailleurs bien plus lourds qu'il y a soixante ans²⁷². Le trafic, mesuré en véhicules-kilomètres²⁷³, n'a pratiquement jamais cessé d'augmenter, avec un doublement entre 1978 et 2018 et une nouvelle hausse de 10 % entre 2008 et 2018. Si une route très fréquentée reçoit en moyenne 4 000 véhicules par jour en 1950, quelques radiales autour de Paris reçoivent plus de 200 000 véhicules par jour depuis 30 ans²⁷⁴. La réduction du trafic *intramuros* de quelques villes (Strasbourg, Grenoble) consiste davantage en un report vers la périphérie qu'une réduction absolue. Sauf quelques récentes exceptions, les politiques de mobilité centrées sur l'automobile se sont poursuivies²⁷⁵. Le transport routier compte aujourd'hui pour presque 92 % du trafic de personnes (en passagers-kilomètres) avec des dégâts toujours très importants. En cumulé, on compte environ 700 000 morts sur les routes depuis le tournant des années 1950²⁷⁶ – en outre, 124 ouvriers des travaux routiers sont morts par collision en abord de chantier en 2016.

Ces évolutions soulignent que le triomphe du transport routier de marchandises ne fait que commencer dans les années 1960. Comme rappelé, le fret ferroviaire est supérieur au transport routier pendant quasi toute la durée du Fordisme ; ce sont les RN, et non les autoroutes, qui subissent le trafic le plus important jusqu'à la fin des années 1970²⁷⁷. La réalisation du marché unique, la libéralisation du marché européen du fret, et les dérèglementations routières vont accentuer la domination du transport routier de marchandises à partir de la

le secteurs public et privé : conseiller du Premier ministre Chaban-Delmas entre 1969 et 1972, lors de l'accélération du programme autoroutier, premier délégué national à la sécurité routière, chef de mission de la Commission européenne, chargé de mission du ministère de l'Équipement, et président de l'URF au début des années 1990. Il cherche toute sa vie à démontrer que le "tout automobile" constitue un progrès économique et social tel, qu'il est inutile de chercher à développer les modes concurrents : Neiertz, *op. cit.*, p. 514-516.

270. Le schéma de 1986 abandonne 1 570 km d'autoroutes par rapport au programme de 1978. Le schéma de 1988 prévoit, au contraire, la construction de 2 800 km d'autoroutes en dix ans, et 6 100 km pour celui de 1992. Près de 2 000 km sont construits entre 1992 et le 1er janvier 1998.

271. URF, *Faits et chiffres, statistiques du transport en France 2006*, Union routière de France, octobre 2006.

272. V. Smil, *Making the modern world : materials and dematerialization*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons, 2014, p. 132-134.

273. Cette métrique est meilleure car les camions roulent davantage. En 2019, une voiture a roulé en moyenne 12 200 km contre 44 400 km pour un poids lourd : SDES, *Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation*, novembre 2020.

274. URF, *Faits et chiffres, statistiques des mobilités en France et en Europe 2019*, octobre 2019.

275. Celle-ci se matérialise par une série d'aménagements : parkings, élargissement des chaussées au détriment des trottoirs, etc. Voir : Héran, « La remise en cause du tout automobile », *op. cit.*

276. Le chiffre de morts annuels baisse : 11 000 en 1990, contre 4 000 en 2014 (<https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/>). Outre la ceinture de sécurité, ceci est également lié à une accumulation de matières (glissières, équipements lumineux, etc.) et un entretien des abords des routes.

277. *La route en* (1981, p. 23).

fin des années 1980. La politique anti-fret devient explicite²⁷⁸, alors qu’il est bien établi que la fatigue d’une chaussée varie comme une exponentielle avec le poids : cette “loi” figure aussi dans un document de l’OCDE²⁷⁹ et sert toujours de modèle dans le dimensionnement des chaussées²⁸⁰ ; en France, des études récentes²⁸¹, situent l’exposant alpha entre 5 (chaussées souples) et 12 (semi-rigides). Le patronat lui-même reconnaît, pour l’usure d’une chaussée, l’égalité entre un poids lourd chargé et un million de voitures²⁸². Le nombre de poids lourds de plus 17 t, déjà multiplié par 5 entre 1966 et 1984, continue d’augmenter avec les accords européens. Le transport routier de marchandises a doublé entre 1990 et 2010, dont une bonne partie est un trafic de transit²⁸³. Le poids maximal autorisé à la circulation en France passe à 38 t en 1982, 44 t au 1er janvier 2013²⁸⁴. En 2018, la route subit 87 % du transport de marchandises (contre 53 % en 1981). Jamais aucun rapport n’invite à diminuer drastiquement le transport de marchandises par camion.

Bien qu’il n’y ait plus de programme routier d’envergure (autoroute ou renforcement), la route reste extrêmement coûteuse pour son seul maintien. A partir de 1993, le coût est tel que la politique d’entretien des chaussées sélectionne les actions à mener : maintien de l’entretien préventif pour les voies rapides urbaines, une diminution des caractéristiques techniques pour la majorité, et l’abandon de l’entretien préventif sur les RN ordinaires où seul est réalisé un entretien visant à empêcher l’accélération des dégradations²⁸⁵. En cumulant État et collectivités, les dépenses routières totales varient entre 13 et 17 Mds€/an depuis 2005²⁸⁶. Entre 1990 et 2015, près de 400 Mds€ (valeur 2015) ont été investis dans les infrastructures linéaires de transport, dont presque 70 % pour les routes²⁸⁷. La moyenne annuelle, pour 2016-2019, hors grands travaux et hors frais de fonctionnement et de personnel, avoisine les 40 000 €/km pour le seul réseau national²⁸⁸. Les dépenses d’entretien, d’exploitation et de régénération des autoroutes avoisinent les 200 000 €/km/an²⁸⁹. Les collectivités locales consacrent de 30 à 40 % de leurs dépenses de transport à l’entretien et à la modernisation de leurs réseaux et

278. Dopée par les directives européennes, qui imposent la concurrence, une substitution très nette est à l’œuvre depuis le début des années 2000.

279. OCDE, *Le chargement dynamique des chaussées*, Paris, 1992.

280. De nombreux facteurs entrent en ligne de compte (type d’essieu, de pneu, suspension, vitesse, mais surtout revêtement) sans que leur influence soit bien comprise Bortoli, *op. cit.*, p. 68.

281. P. Cousin, *Imputation aux usagers PL et VL du coût d’infrastructure des routes*, Bagnoux : SETRA, 2009, p. 72 ; G. Durand et P. Cousin, *Incidence des PL sur les coûts de construction de chaussées neuves*, Bagnoux : SETRA, 2009 ; Bortoli, *op. cit.*, p. 67-68 ; CIMbéton, *Tome 1, op. cit.*

282. Routes de France, *Routes et rues, l’urgence : rénover, entretenir*, 2018, p. 10.

283. SDES, *Bilan annuel des transports en 2019*, décembre 2020.

284. Les nomenclatures illustrent le changement. Il n’y avait qu’une seule rubrique pour les plus de 32 tonnes. Il existe désormais les classes 32-40, 40-50 et 50-60 tonnes. Certains projets européens évoquent des autorisations, pour le transport de bois, de circulation de 60 t. Une comparaison avec l’impact d’un vélo nous conduit au-delà de la stratosphère.

285. CGEDD, *op. cit.*, p. 37.

286. URF, *Etat de la route en France, op. cit.*

287. SOeS, *Les infrastructures linéaires de transport : évolutions depuis 25 ans*, Service de l’observation et des statistiques, décembre 2016, p. 24.

288. Les autres montants : 25 000 €/km/an pour les métropoles, et entre 4 000 et 10 000 €/km/an pour les départements : ONR, *Rapport 2020*, Paris : Observatoire National de la Route, 2020, p. 24-28.

289. Contre 120 000 €/km/an pour le réseau national non concédé, et 15 000 €/km/an pour les routes départementales : Cour des Comptes, *L’entretien des routes nationales et départementales*, Rapport public thématique, mars 2022, p. 59.

à son personnel (8-9 % des dépenses totales des communes et départements – de 3 à 5 Mds€ les dernières années).

4.5.3 Surveiller et entretenir le capital

L'argument de la route comme patrimoine, et surtout capital, à préserver est sans cesse réactualisé dans les publications annuelles²⁹⁰. Si l'État fordiste adopte déjà cette vision, l'État néolibéral la promeut à un niveau inouï. La gestion du réseau comme actif sert aussi la "compétitivité" du pays et à présenter "l'entreprise France" comme plus intéressante que les pays voisins. Le réseau routier national est très important dans cette perspective puisqu'il représenterait 2/3 des "immobilisations corporelles de l'État". Cette représentation est d'autant plus forte qu'elle est partagée par des économistes hétérodoxes, dans un tout autre registre²⁹¹. L'idée que les infrastructures sont "bonnes", même si elle est défendue avec des arguments différents, tend donc à être hégémonique²⁹². Si elle prolonge la logique mise en place dans les années 1960, l'auscultation va connaître une transformation plus importante puisqu'elle sert toujours plus de "proxy" à l'évaluation monétaire du réseau. Un symbole de cette évolution est l'ONR, créé en 2016 et piloté par l'IDDRIM, qui a pour objectif de partager les connaissances sur le patrimoine pour "éclairer" les politiques publiques pour sa préservation.

Investir dans un verrou

Depuis 2014, la référence à un patrimoine de 2 000 Mds€ domine (soit environ le PIB du pays – ce qui n'est probablement pas un hasard). Les montants sont très arbitraires, pour ne pas dire fantaisistes : à notre connaissance, aucun calcul ne vient soutenir les 1750 Mds€ du réseau départemental et communal. Quant au reste, 250 Mds€, il se décompose en deux parties de même valeur, autoroutes concédées et réseau national non concédé²⁹³. Les expressions du caractère bancal de ces chiffres sont nombreuses²⁹⁴. Dans le compte général de l'État, les infrastructures routières qui regroupent les autoroutes, les ouvrages d'art, les dépendances, les aires et l'équipement (signalisation, glissières, etc.) sont valorisés au bilan de

290. Cour des Comptes, *Le rapport public annuel 2001*, 2001 ; OCDE, *Gestion du patrimoine d'infrastructure dans le secteur routier*, Paris, 2001 ; CGEDD, *op. cit.* ; IDDRIM, *Entretenir et préserver le patrimoine d'infrastructures de transport : une exigence pour la France*, Livre blanc, Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité, octobre 2014 ; URF, *Etat de la route en France*, *op. cit.* ; Routes de France, *Routes et rues, l'urgence : rénover, entretenir*, *op. cit.* ; ONR, *Rapport 2020*, *op. cit.*

291. Pour déconstruire l'idée que la dette publique serait un fardeau insoutenable pour les générations futures, le collectif des *Économistes Atterrés* insiste que chaque Français dispose d'un actif : le patrimoine public par habitant. Contre l'idée que chaque nouveau-né en France hériterait d'une dette de 30 000 €, il souligne donc que chacun reçoit un patrimoine public d'environ 4 500 € : *Économistes atterrés*, éd., *La dette publique : précis d'économie citoyenne*, Paris, Seuil, 2021, p. 28.

292. Un constat partagé par Mattioli et al., *op. cit.*

293. La longueur du réseau national est de 12 000 km, suite au transfert de 18 000 km aux départements en 2004.

294. En 1994, une étude suggère 190 MdsF (1980) pour les RN et autoroutes et 247 MdsF pour tout le reste : J.-P. Taroux, « Estimation de la valeur du capital des infrastructures de transport », *Synthèse de l'OEST 78* (1994), p. 21-24 ; en 2006, le réseau communal est estimé à 100 Mds€ : CIMbéton, *Le retraitement en place à froid des chaussées au ciment ou aux liants hydrauliques routiers*, Entretien des routes secondaires T90, 2006, p. 3.

l'État au “coût de remplacement déprécié”. Faute de base solide pour évaluer monétairement ce capital fixe²⁹⁵, la réponse reste donc : sa valeur équivaut au coût de reconstruction à neuf (diminué du coût d'entretien²⁹⁶). Les seules chaussées du réseau routier national non concédé représentent un patrimoine dont le coût de reconstruction à neuf est de l'ordre de 26,2 Mds€ selon le rapport de la CGEDD²⁹⁷.

Dans ces publications, exactement comme dans les années 1960, la dépense de l'État est rapportée à ce total, pour montrer son caractère dérisoire : moins de 1 % de la valeur à neuf de ce réseau. Cet écart suffit au patronat et à certains parlementaires pour décrier sempiternellement la faiblesse des crédits routiers. Très logiquement, on trouve l'argument que l'entretien préventif est préférable au curatif : consacrer régulièrement des petites sommes aux petits désordres est moins cher qu'attendre de devoir effectuer de grosses réparations. C'est un slogan fréquent de *Routes de France* : “Un euro non investi en entretien équivaut à 10 € de dépenses supplémentaires”. La vision monétaire, et amatérielle, coût-bénéfice – les routes sont rentables car les bénéfices (recettes fiscales) dépassent les dépenses – domine tous les rapports du patronat²⁹⁸ et des pouvoirs législatifs. Si on suit cette logique, il faut toujours plus investir dans les infrastructures pour qu'elles conservent ou augmentent de valeur – c'est même un investissement d'avenir d'après l'IDDRIM²⁹⁹.

Un virage “entrepreneurial” se lit dans les rapports. Comme le réseau est un capital, les politiques routières deviennent des stratégies financières, qui pour être efficaces doivent reposer sur une bonne estimation de la qualité des actifs. Ainsi, l'OCDE juge que la gestion du patrimoine d'infrastructures doit rapprocher la gestion des ressources d'une administration des routes à celle d'une entreprise³⁰⁰. La valeur des actifs en infrastructure constitue “un facteur significatif dans la détermination des priorités pour les investissements futurs”. Cette institution exprime un point de vue nouveau : l'une des finalités principales de la valorisation est de rendre compte de l'état physique du réseau routier. C'est donc la valeur monétaire qui qualifie l'état du réseau. L'extension de cette rationalité au niveau départemental est en cours³⁰¹. Dans cette optique, un *think tank* libéral³⁰² encourage les collectivités territoriales à évaluer monétairement leurs réseaux pour mieux les gérer. Cette évolution est perceptible dans la production de nouvelles statistiques départementales annuelles regroupées par l'ONR

295. Sans rentrer dans le détail, l'évaluation du capital par l'intermédiaire des bénéfices futurs attendus ne convient pas. L'évaluation par le prix du marché n'est pas possible puisqu'il n'y a pas de marché. La méthode chronologique consiste à simuler l'accumulation du capital, moyennant l'utilisation de séries longues d'investissement et la connaissance des durées de vie des infrastructures. Voir : H. Delestré, « L'accumulation du capital fixe », *Economie et statistique* 114.1 (1979), p. 33-47.

296. Des incohérences existent dans ces évaluations. Pour la Franche-Comté, 252 km de RN ont été intégrés à l'actif du département en 2008 pour un total de 768 M€. Ce montant est à rapprocher de la valorisation au bilan du département des 4 302 km de routes départementales avant ce transfert, soit 708 M€. L'écart a une explication. Dans la réglementation comptable applicable aux départements, la valorisation des actifs repose sur le coût historique. Ils sont comptabilisés pour une valeur initiale d'acquisition augmentée, le cas échéant, du coût des travaux d'équipement ultérieurement effectués. La valeur des immobilisations anciennes ne peut pas faire l'objet d'une réévaluation. Voir : P. Cula, « La route, un patrimoine », Dole, 28 novembre 2011.

297. CGEDD, *op. cit.*, p. 6.

298. Routes de France, *Routes et rues, l'urgence : rénover, entretenir*, *op. cit.*

299. IDDRIM, *op. cit.*

300. OCDE, *Gestion du patrimoine d'infrastructure dans le secteur routier*, *op. cit.*

301. *Bull. liaison* (mai-juin 2000).

302. <https://www.ifrap.org/etat-et-collectivites/patrimoine-des-collectivites-territoriales-1361-milliards-deuros>

depuis 2017. Dans une perspective typique de la rationalité néolibérale³⁰³, chaque département tend à se penser comme entreprise qui possède divers actifs à faire fructifier et dont elle doit prendre soin pour attirer des investisseurs.

Surveiller le capital – auscultation comme indicateur financier

L'auscultation se métamorphose en surveillance du capital. Elle transforme l'entretien en opération de maintien de la valeur des actifs. A l'ère néolibérale, la qualification du réseau est devenue un enjeu toujours plus central car elle donne une indication de la valeur de l'actif réseau routier³⁰⁴. L'héritage de l'époque fordiste est très clair dans les campagnes de qualification du réseau : depuis 1993, l'auscultation dite Image Qualité Réseau routier National (IQRN) est réalisée pour la France entière sur trois ans³⁰⁵. La déflexion, métrique technique qui mettait le réseau au service du poids lourd, est abandonnée pour une métrique à finalité explicitement économique. Une “note patrimoine” entre 0 et 20 résume l'état d'un tronçon routier en indiquant le coût de sa remise à neuf. En objectivant la (bonne) qualité des infrastructures, ces notes servent également à attirer des capitaux³⁰⁶. Cet indicateur financier³⁰⁷ est un instrument majeur de l'entretien routier puisqu'il guide la DR (maitre d'ouvrage) dans l'élaboration des programmes de travaux qu'elle communique aux DDE (maitres d'œuvre). En outre, l'IQRN sert de référence à la surveillance de l'état du réseau autoroutier concédé et des ouvrages d'art³⁰⁸. La Banque des Données Routières, qui naît avec les campagnes des deflectographes des années 1960 (4.3.2), est désormais alimentée par de nouvelles campagnes – environ 150 000 sections sont analysées et notées sur tout le réseau national – et accompagnée par le développement, par les Ponts et Chaussées, de nouvelles méthodes statistiques et logiciels³⁰⁹. L'OCDE attribue à cette banque de données une valeur financière élevée³¹⁰. Le premier “impératif” pour décider d'une politique routière, selon l'IDDRIM, consiste à connaître son patrimoine d'infrastructures, donc à établir un diagnostic de l'état du réseau. La rationalisation de l'auscultation par le chiffre, permet une

303. Dardot et Laval, *op. cit.*

304. On observe les effets de la gouvernance par les nombres : A. Supiot, *La gouvernance par les nombres : cours au Collège de France, 2012-2014*, Paris, Pluriel, 2020.

305. SETRA, *Image Qualité du Réseau routier National - IQRN. Année 2002*, Bilan d'enquête, décembre 2004.

306. Ceci est parfois explicite : “la qualité des infrastructures de transport françaises (routières, ferroviaires, portuaires et aéroportuaires) permet au pays de se classer au 2ème rang européen et au 3ème rang mondial en termes d'attractivité pour les entreprises étrangères désireuses de s'implanter hors de leur propre pays” IDDRIM, *op. cit.*, en 2019, la France se classe à la 18e place du classement du Forum économique mondial pour la qualité de ses infrastructures routières après avoir occupé la première place en 2012 : http://www3.weforum.org/docs/WEF_TheGlobalCompetitivenessReport2019.pdf.

307. IMDM et Nibuxs, *Audit externe sur l'état du réseau routier national non concédé et la politique d'entretien de ce réseau*, DIT - DGITM - MTEs, avril 2018.

308. La méthodologie, mise en place à partir de 1995, est la même pour ceux-ci (depuis 2006 pour les 6 000 murs de soutènement ; depuis 2015 pour les tunnels). Les causes des dégradations restent asociales.

309. *Bull. liaison* (avr.-mai-juin 2006).

310. L'organisation explique que l'administration de cette base, la connexion entre les données, leur propriété et leur description détaillée doit être correctement établie et définie dès le début et entretenue tout au long de la durée de vie du système : OCDE, *Gestion du patrimoine d'infrastructure dans le secteur routier*, *op. cit.*

prise en charge paramétrique et prétendument apolitique du réseau³¹¹, qui est poussée à son acmé – au point que la politique routière se définit parfois au travers de notes qui sont immédiatement budgétisées³¹².

4.5.4 L'entretien de Sisyphe

L'héritage le plus évident consiste en cet amas de bâtis, produits pour soutenir l'automobilisme et la révolution logistique³¹³, qui n'a cessé de grandir. La simple reproduction matérielle d'un réseau plus épais est plus coûteuse en matière et en énergie³¹⁴. S'il est impossible de juger tous les effets d'entraînement de la nouvelle norme routière sur les réseaux locaux, s'il est certain que ceux-ci ont connu des transformations plus légères – élargissement, couche de roulement en enrobés bitumineux –, leur poids global, du fait de leur longueur (quasiment un million de km), a dû sensiblement augmenter aussi. Malgré les inquiétudes et les efforts des ingénieurs et entreprises, qui inventent des couches plus minces et des formes de recyclage³¹⁵, sa reproduction demande bien plus de flux biophysiques depuis les années 1960. Un chiffre exact est difficile à établir. Depuis le milieu des années 2000, il faudrait 100 Mt/an de granulats pour l'entretien des infrastructures³¹⁶, dont 32 à 42 Mt/an pour les enrobés bitumineux nécessaires au renouvellement des couches de roulement³¹⁷.

Aux mêmes causes répondent les mêmes conséquences. Année après année, le trafic lourd a augmenté, les chaussées se sont à nouveau dégradées et il a fallu encore les réparer. L'effet rebond, constaté par un périodique, est permanent³¹⁸. Rapport après rapport, le constat est le même : le réseau est dégradé, il devient dangereux de ne pas allouer des crédits supplémentaires pour le réparer, d'autant plus qu'il s'agit d'un capital précieux. La première auscultation IQRN en 1992, alors que le renforcement du réseau vient de s'achever, révèle que 13 % du réseau est considéré en mauvais état³¹⁹. En 2001, la Cour des Comptes s'alarme

311. Comme le démontre Supiot, l'efficace politique du recours au nombre tient dans la "force d'évidence" de l'argument chiffré : Supiot, *op. cit.*

312. Pour les chaussées, un audit externe encourage d'obtenir une moyenne de 17 pour 2020 et 17,5 pour 2028 (une note inférieure à 13 signale un état mauvais justifiant d'un renforcement) pour un investissement supplémentaire de 344 M€/an. S'agissant du seul réseau routier national non concédé, l'audit suggère un scénario "optimal" pour 1 Mds€/an entre 2018 et 2037 : IMDM et Nibuxs, *op. cit.*

313. Autoroutes, RN, déviations, rocade, échangeurs, ports, bassins, digues, etc. Les extensions se poursuivent : au Havre, la construction de terminaux à conteneurs a nécessité le dragage de 19 Mt en 2002 et 2003, et à Marseille, 5,5 Mt ont été dragués pour la construction du terminal FOS 2XL : J. Foucher, « Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France métropolitaine », TFE, ENTPE, 2005, p. 15.

314. Y compris l'entretien annuel (élaguer, couper, tailler) des bords des routes, dont la surface avoisine les 5 000 km² : F. Mallard, « Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des projets d'infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels », Thèse de doctorat en génie civil, École Centrale de Nantes, 2014, p. 59.

315. Des nouvelles techniques de travaux d'entretien sont mises au point et diffusées, tout particulièrement les revêtements très minces qui doivent servir à utiliser moins de granulats, les pratiques du fraisage et du recyclage des chaussées (chap. 5). La faible épaisseur des couches est contestée puisqu'elle ne permet pas de prévenir une remontée rapide de la fissuration du support : CGEDD, *op. cit.*, p. 29.

316. CIMbéton, *Le retraitement en place à froid*, *op. cit.*

317. Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*, p. 2.

318. "Chaque perfectionnement apporté à la construction ou l'entretien du réseau paraissait immédiatement compromis par l'usure accrue due à la circulation de véhicules de plus en plus nombreux, rapides et lourds." (RGRA, mai 1976).

319. RGRA (déc. 2000, p. 96-97).

que 22 % des chaussées du réseau souffre de graves dégradations³²⁰. Les rapports soulignent que les moyens affectés ne permettent pas d'enrayer une détérioration de l'ensemble des catégories de routes du RRN³²¹. Dernièrement, l'IDRRIM soulignait que l'âge moyen du réseau départemental est de 12,9 ans et que 46 % des chaussées nécessitent un entretien ou sont en mauvais état. L'audit externe estime qu'avec les moyens actuels, 62 % des chaussées seraient très dégradées sur le réseau national non concédé en 2037 (contre 29 % en 2017). Malgré les sommes colossales investies depuis soixante ans, malgré l'investissement technique et matériel, l'état du réseau est unanimement jugé préoccupant. Il y a pire que les chaussées : depuis une vingtaine d'années les préoccupations se font toujours plus fortes autour des ouvrages d'art. Un tiers des 12 000 ponts autoroutiers aurait besoin d'être réparé et 7 % sont menacés d'effondrement³²². Si aucun effort supplémentaire n'est consenti, 62 % des chaussées nationales seront très dégradées en 2037 et 6 % des ponts seront hors service³²³. Son caillou transformé en capital, Sisyphe est pris en otage.

4.6 Renforcer les structures sociales

Au cœur de la Grande Accélération, la nouvelle norme routière, symbolisée par les politiques autoroutière et des renforcements coordonnés, accorde la priorité à l'auto-mobilité et à la circulation des flux de marchandises. L'agrandissement de toutes les infrastructures routières pendant le Fordisme, une caractéristique de sa pratique spatiale, a été pour partie réalisé *via* une opération d'entretien et a contribué à faire advenir le régime néolibéral dans lequel, malgré les innombrables dégâts et contestations, le triomphe routier est total. Ce dernier ne s'explique pas par la seule force des idéologies, ni par le seul pouvoir des lobbys, des administrations des routes ou des ingénieurs. Il doit en effet beaucoup à la matérialité des infrastructures qui le soutiennent. La présence physique des nouveaux espaces (réseaux routiers ou ports) contribue sans aucun doute à naturaliser leur maintenance et leur entretien. Comme l'entretien d'un espace produit semble être consensuel, ces opérations semblent aller de soi pour différentes sensibilités politiques³²⁴. Schématiquement : réparer un objet pour améliorer sa durée de vie figure le plus souvent dans les programmes écologistes ; maintenir un réseau public, vu comme bien collectif, en bon état est un souhait de courants sociaux-démocrates ;

320. Cour des Comptes, *Le rapport public annuel 2001*, *op. cit.*, p. 612.

321. Le renouvellement des couches de chaussées est ainsi passé de 8 % du réseau en 2009 à 5 % en 2012. Dans les années 2010, la fréquence moyenne de renouvellement de la couche de surface était de 18 ans, contre environ six ans au début des années 1980 pour les chaussées à trafic important : Boulet, *op. cit.*, p. 51 ; ONR, *Rapport 2018*, *op. cit.* ; un avis parlementaire de 2018 confirme que les chaussées qui présentent des dégradations structurelles concernent 18 % du réseau national en 2017 (14 % en 2007) : D. Pichereau, *Transports terrestres et fluviaux*, Avis présenté au nom de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire n°1285, Assemblée Nationale, 2019, p. 14.

322. L'inquiétude remonte au rapport de la Cour des Comptes de 2001. Repousser les travaux d'entretien des ouvrages d'art construits entre 1968 et 1980, qui arrivent à la moitié de leur vie et nécessitent d'importants travaux, conduirait à accroître la "dette grise" : *idem*, *op. cit.*, p. 16.

323. Un exemple aussi anecdotique que dramatique : le pont de Mirepoix sur le Tarn, qui rompt en 2019 et cause la mort de 3 personnes, avait déjà été réparé en 2000 (*Travaux*, sept. 2000, p. 42-47). L'effondrement s'explique par le passage d'un camion d'un poids total de 40 t, alors que sa capacité maximale était de 19 t : Cour des Comptes, *L'entretien des routes nationales et départementales*, *op. cit.*, p. 39-40.

324. Sur la dépendance du système de transport à la voiture, et les stratégies de légitimation de la construction d'infrastructures : Mattioli et al., *op. cit.*

préservé un patrimoine historique justifie sa maintenance pour les conservateurs ; valoriser un capital est un réquisit de tout programme libéral³²⁵. Le fait qu’une certaine unanimité politique apparaisse sur ce sujet, sans sous-estimer la diversité des arguments, illustre la puissance des verrous et la pesanteur de l’héritage. Au contraire de ce qu’affirment quelques ingénieurs, une route n’a pas une durée de vie limitée : tant qu’elle s’inscrit dans des rapports sociaux qui l’entretiennent et la réparent, elle est maintenue. *A contrario*, la persistance matérielle du réseau soutient les idéologies, acteurs et institutions (y compris l’État) qui le prennent en charge³²⁶.

D’autres infrastructures peuvent être examinées selon la méthode adoptée ici, en portant une attention particulière aux caractéristiques du régime d’accumulation et à la façon dont les verrous (matériels, idéologiques, techniques) s’assemblent pour faire prise. Notre argument peut se prolonger sous certaines conditions. Nous avons placé la focale sur les grands réseaux routiers qui sont pris dans des rapports sociaux spécifiques et, en particulier, ont un lien très étroit à l’État. Ainsi, nous manquons d’éléments pour mesurer l’écart du réseau national avec les réseaux locaux (départementaux³²⁷, communales, vicinaux, ou ruraux), redevables d’autres rapports sociaux³²⁸. L’agrandissement des infrastructures par adaptation aux exigences de la circulation de marchandises, est largement vérifiée à l’international et n’est pas propre au XXe siècle³²⁹. Outre l’évolution spectaculaire des ports, la logique d’extension et épaississement est observée pour les aéroports, barrages, canaux, réseaux électriques et téléphoniques (avec des décalages temporels). En France, le réseau des chemins de fer est en revanche plus ambigu en raison d’un double mouvement : fermeture des milliers de kilomètres de petites lignes et des milliers de gares ; développement des LGV qui sont extrêmement coûteuses en flux biophysiques. Rapporté au nombre de kilomètres, il a certainement connu une rupture métabolique – mais moins marquée que celle du réseau routier national. Un cas exemplaire de dépendance au sentier concerne les centrales nucléaires, dont la représentation comme patrimoine incite à la préservation³³⁰.

Le caractère matériellement cumulatif du capitalisme conduit à interroger les possibilités de bifurcation. Quand bien même des rapports sociaux radicalement différents s’instauraient, la “société nouvelle” devrait faire avec ce pesant héritage matériel, même si elle se donne pour mission de s’en défaire au plus vite. Sans même évoquer les intérêts présents et l’importance des habitudes sociales, la remise en cause d’un objet aussi courant que l’automobile est contrainte par les colossaux investissements passés dans ces immenses infrastructures, et les intérêts économiques associés. La période contemporaine marque peut-être une nouvelle

325. Les quatre messages pour les décideurs publics de l’IDDRIM : “les infrastructures de transport sont un bien public” ; “les infrastructures de transport soutiennent l’économie” ; “préservé un patrimoine de plus de 2 000 milliards d’euros” ; “entretenir les infrastructures est un investissement d’avenir” : IDDRIM, *op. cit.*

326. Nous nous opposons ici à l’article de Mattioli et al., *op. cit.*, qui insiste sur l’idée que l’État aurait été capturé par des systèmes de transport soumis à l’automobile.

327. Environ 380 000 km et 100 000 ouvrages d’art (en moyenne deux fois plus petits que ceux du réseau national). Voir des données départementales dans : ONR, *Rapport 2020, op. cit.*

328. Cavaillès, *op. cit.* ; Guillaume, *Corps à corps sur la route, op. cit.* ; Goger, *op. cit.*

329. Un cas exemplaire concerne les canaux de Suez et Panama qui sont régulièrement agrandis et demandent un entretien permanent pour être en état de fonctionnement : Carse, « Nature as infrastructure », *op. cit.* ; Piquet, *op. cit.*

330. C’est le but explicite d’une nouvelle association, soutenue par MM. Montebourg, Accoyer et Chevènement. Voir : <https://pnc-france.org/>

rupture : arrêt de la construction d'autoroutes, saturation du trafic et du parc automobile, voire déclin de la dépendance à l'automobile (certains entrevoient un *peak car*³³¹). Il est acquis que les infrastructures sont, telles quelles, incompatibles avec une trajectoire qui limite le réchauffement climatique à 2°C d'ici 2100³³². Comme en 1963, ce pourrait bien être là une crise du réseau routier – où l'on comprend que la crise ne peut être décrite qu'*a posteriori* et qu'elle dépend bien des dispositifs institutionnels, donc des structures sociales, et non pas de la seule matérialité du réseau – qui annonce, comme à l'époque, un nouveau régime d'accumulation (tirée par une croissance "verte"). Notre enquête met en garde contre le verdissement annoncé du transport routier qui ne concerne que l'énergie des moyens de transport, et le CO2, et non le support. L'électrification des véhicules automobiles, vise à décarboner, partiellement, le métabolisme général, mais n'aura aucun impact sur les flux nécessaires à l'entretien des réseaux routiers. Au contraire, le métabolisme du support connaîtra un nouveau saut quantitatif : l'adaptation du réseau exigera des millions de bornes électriques (dont l'empreinte matérielle est conséquente) ; le poids de ces véhicules suréquipés est supérieur aux autres véhicules, de sorte que leur circulation exigera un entretien plus lourd en matière et en énergie³³³ ; ceci n'altère pas l'impact des camions qui, même peints en vert, détruiront toujours autant les chaussées. Sans surprise, au vu des acteurs qui le portent, qui n'ont aucun intérêt à un bouleversement radical de l'ordre en place, ce projet repose *in fine* sur l'idée qu'un changement technique peut répondre à des urgences socio-environnementales. Enfin, ce projet transforme au mieux les paradigmes de l'automobilisme et du libre-échange sans nullement les contester. C'est pourquoi il est difficile de ne pas voir là une nouvelle fuite en avant, sous d'autres couleurs³³⁴. Le dernier chapitre interroge le projet politique de faire du stock nouveau avec du stock ancien, produire de nouveaux espaces par des espaces produits, porté par le paradigme de l'économie circulaire, en abordant la dialectique entre production d'espace et espaces-déchets.

331. Voir les références dans : B. Cornut, « Le Peak car en Ile-de-France : Etude de l'évolution de la place de l'automobile et de ses déterminants chez les franciliens depuis les années 1970 », Thèse de doctorat en sociologie, Université Paris-Est, 2017 ; P. Goodwin et K. Van Dender, « 'Peak Car' — Themes and Issues », *Transport Reviews* 33.3 (2013), p. 243-254 ; J. Laviolette, C. Morency et E. O. D. Waygood, « Persistance de l'automobilité ? Analyse en trois perspectives », *Flux* 119-120.1 (2020), p. 142.

332. K. C. Seto et al., « Carbon Lock-In : Types, Causes, and Policy Implications », *Annual Review of Environment and Resources* 41.1 (2016), p. 425-452 ; Wiedenhofer et al., « Integrating Material Stock Dynamics Into Economy-Wide Material Flow Accounting », *op. cit.* ; Krausmann, Wiedenhofer et Haberl, *op. cit.*

333. Sur les gains d'une réduction du poids des véhicules, voir : A. C. Serrenho, J. B. Norman et J. M. Allwood, « The impact of reducing car weight on global emissions : the future fleet in Great Britain », *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 375.2095 (2017), p. 20160364.

334. N. Magalhães, « The green investment paradigm : Another headlong rush », *Ecological Economics* 190 (2021), p. 1-6 ; N. Magalhães, « Les structures cachées des empreintes cachées », *Terrestres. Revue des livres, des idées et des écologies [en ligne]* 20 (2021).

Chapitre 5

Valorisation des déchets et inertie de la production de l'espace

Ce chapitre révèle que la production d'espace est historiquement au cœur du problème de valorisation de grandes masses de déchets¹. En étudiant la dialectique entre ces processus (les flux associés au rectangle vert dans la figure 3), nous montrons comment la production de l'espace devient, en plus d'être le principal exutoire de déchets depuis 1945, la principale cause du problème.

5.1 La production comme libération de l'espace

L'évolution du métabolisme des grandes infrastructures révèle l'apparition et la disparition d'une grande diversité de matières. Des chantiers d'autoroutes aux barrages en passant par les centrales nucléaires, les LGV ou les routes départementales², des noms originaux apparaissent³ : laitier sidérurgique, schiste houiller, cendre volante, mâchefer d'incinération d'ordures, phosphogypse, sédiments de dragage, gravats de démolition de routes et de bâtiments, etc. Derrière la diversité, se découvre une unité : ce sont des déchets, qui existent encore, et ils représentent l'écrasante majorité de tous les déchets produits annuellement en France (hors déchets sylvicoles et agricoles⁴). Loin des déchets qui marquent le Capita-

1. Le déchet est défini comme "tout résidu d'un processus de production, de transformation ou d'utilisation" et "tout matériau, substance, produit ou, plus généralement, tout bien meuble abandonné ou que son détenteur destine à l'abandon" (lois du 15/07/1975 et 12/07/1992). La valorisation est définie par la Directive européenne n°2008/98/CE comme "opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en remplaçant d'autres matières qui auraient été utilisées à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, dans l'usine ou dans l'ensemble de l'économie". Sur la terminologie changeante, voir : Barles, *L'invention des déchets urbains, op. cit.*, p. 229-246.

2. Voici quelques exemples : laitiers dans le barrage de Bort-les-Orgues (*L'Équipement Mécanique*, déc. 1953) ; cendres volantes dans les couches de chaussées de l'autoroute A9 Montpellier-Béziers (*Chantiers de France*, mai 1976) ; schistes pour l'autoroute A25 Lille-Dunkerque (*PCM*, nov. 1977, p. 65) ; matériaux de démolition pour renforcer et agrandir la RN6 au nord de Melun (*Bull. liaison*, sept. 1982) ; sédiments dragués dans le port de Dunkerque pour les remblais du TGV Nord (*Travaux*, juin 1992).

3. On pourrait ajouter environ 100 kt de vieux pneumatiques valorisés pour renforcer les sols ou transformés en poudres servant de base aux constituants de sols sportifs (*Travaux*, nov. 1999).

4. Ceux-ci sont rarement comptabilisés dans les rapports de l'ADEME sur les déchets. La quantité de déchets produite en 2009 est de 770 Mt, dont 374 Mt issus de l'agriculture et sylviculture : ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2012*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012, p. 8.

locène au niveau mondial et dont on pourrait attribuer une partie de la responsabilité au capitalisme français – nucléaires, plastiques, chimiques, miniers⁵, etc. –, qui possèdent des caractéristiques extraordinaires, et extraordinairement préoccupantes⁶, les déchets de ce chapitre présentent les traits ordinaires, propres à la production de l'espace moderne : volumes importants, faible valeur (donc important coût de transport), majoritairement “inertes” (i.e., ils ne subissent aucune modification physique, chimique ou biologique importante au cours du temps). Notre chapitre met d'abord en évidence un *Problème* pratique que se posent industriels et ingénieurs : comment valoriser au mieux une masse de déchets. Pour distinguer ce problème générique de ses incarnations historiques, variées depuis le XIXe siècle, nous le noterons *Problème* (en italique). Ceci embrasse des questions contemporaines aussi diverses que les débouchés pour les 40 Mt de déblais du Grand Paris Express, puisque les terres qui sortent des chantiers sont des déchets, les réflexions sur le ciment “vert⁷”, le recyclage du béton armé, ou des interrogations passées sur les terrils de schistes, de laitiers, phosphogypse ou de cendres volantes – comme dans l'exemple qui suit.

5.1.1 La menace de voir le monde étouffé par les résidus

“La menace de voir le monde étouffé par les résidus de ses industries ne peut pas être considérée comme insignifiante”. Cet avertissement, ou prémonition, figure parmi les premières lignes d'un article paru dans les *Annales des Mines* en 1957⁸. L'auteur, Adolphe Jarrige⁹, ancien élève de l'École Polytechnique, est ingénieur aux Houillères du Nord et du Pas-de Calais (NPdC), une entreprise de Charbonnages de France (CDF). Son étude en deux parties sur “Les cendres volantes et leurs possibilités d'utilisation” est très éclairante pour notre enquête. Nous n'évoquons pas Jarrige au hasard¹⁰ : il est le spécialiste de cette matière, sur laquelle il publie de nombreux articles et ouvrages sur leurs applications¹¹. Comme il le souligne lui-même en introduction, “la recherche de débouchés pour les cendres volantes est un cas particulier du problème des déchets industriels”. Celui-ci pose “un problème sérieux” quand les volumes sont importants. Or, les deux principales voies pour s'en débarrasser sont bouchées : d'une part, dit-il, “leur diffusion dans l'air ou dans l'eau est de moins en moins

5. A côté des spectaculaires déchets miniers (or, diamant, cobalt) en Russie ou en Afrique du Sud, la production annuelle aux États-Unis, hors mines de charbon, varie de 1 à 2 Gt, avec des stocks totaux de 25 Gt. Au Canada, on évalue à 1 Gt le total de déchets pour les sables bitumineux et l'industrie minière en 2008. Face à ces chiffres stratosphériques, la France peut sembler appartenir à une classe secondaire. Le pays a pourtant extrait environ 2,5 Gt de charbon de son sol, et au moins autant de résidus. Carré et Le Tourneau, *op. cit.* ; G. Hecht, « Inside-out Earth : Residues of the Anthropocene in Africa », *Politique africaine* 161162.1 (2021), p. 385-402.

6. B. Monsaingeon, *Homo detritus : critique de la société du déchet*, Anthropocène, Paris, Seuil, 2017 ; A. Prévile et P. Bolo, *Pollution plastique : une bombe à retardement ?*, Rapport à l'Assemblée Nationale et au Sénat n°3654 et n°217, 2020 ; M. Armiero, *Wasteocene : stories from the global dump*, Cambridge Elements in environmental humanities, Cambridge, Cambridge University Press, 2021.

7. Le journal *Les Échos* (20/06/2018) évoque la mise au point d'un ciment vert grâce au laitier – une valorisation vieille de 150 ans environ.

8. *Annales des Mines* (oct. 1957, p. 651).

9. A ne pas confondre avec l'historien François Jarrige, également cité dans le chapitre.

10. Il pourrait être remplacé par Michel Venuat, un autre spécialiste des cendres volantes : *Revue des Matériaux* (avr. 1955, nov. 1957) ; Venuat, *op. cit.*

11. Voir : *Annales des Mines* (oct. 1957, nov. 1957, nov. 1960) ; *Annales ITBTP* (série LH, juin 1959) ; A. Jarrige, *Les cendres volantes. Propriétés. Applications Industrielles*, Paris, Eyrolles, 1971.

tolérée” ; d’autre part, la mise en tas, “solution à peu près universellement appliquée”, ne peut pas être considérée comme vraiment satisfaisante puisqu’elle coûte cher et ses inconvénients croissent avec la réduction des surfaces disponibles”. Étant donné “l’énormité des tonnages laissés sans emploi”, qui “stérilisent des espaces importants”, il revient, selon lui, aux pouvoirs publics, qui exercent déjà une action en matière d’évacuation des déchets dans l’intérêt de l’hygiène et de la sécurité, d’intervenir également par raison économique¹². D’autant plus que les sous-produits, souvent dédaignés selon lui, peuvent intervenir “pour une part non négligeable dans l’équilibre financier de l’entreprise” ... à condition d’être utilisés de façon intensive. Il est explicite : “l’utilisation des déchets représente une création de richesse”. Comment, interroge-t-il, disposer des matières récupérées sans frais excessifs et même, autant que possible, avec profit ? En transformant les résidus inutilisés, qu’il suggère de désigner comme “sous-produit” et non plus “déchet”, en produits marchands. Il attribue à l’objectif de valorisation d’une proportion importante de ces énormes tonnages une portée “économique et philosophique générale”, et l’inscrit dans “la lutte contre les gaspillages d’énergie et de matières¹³”. Dans la seconde partie, publiée dans le numéro suivant en novembre, la troisième section est dédiée à la “commercialisation des cendres volantes”. Puisque, du fait de leurs propriétés physico-chimiques, les cendres ont de bonnes applications (il insiste sur l’addition aux ciments, les travaux de construction et de routes), puisque leur qualité technique a été approuvée par les laboratoires¹⁴, il rappelle la nécessité d’une véritable impulsion qui proviendrait de “l’engagement complet des producteurs”. Il passe en revue une série de blocages à lever, dont la mise au point détaillée des conditions d’emploi sur les chantiers ou en usine, et énumère les conditions géographiques (dans un rayon d’une cinquantaine de kilomètres autour des centrales) et économiques qui conduiront à d’importantes valorisations.

Comme un cas particulier peut parfois exprimer clairement les vérités d’un modèle général, la structure concentrée en ses singularités, cet extrait, qui restitue les pensées d’un ingénieur dans la première moitié du Fordisme, fournit un condensé des inquiétudes, des espoirs et des justifications que nous retrouverons tout au long du chapitre. Nous y discernons, pêle-mêle, approche productiviste et conservateur, questionnement sur les statuts ‘produit’ et ‘déchet’, rôle attendu des pouvoirs publics, garanties techniques des laboratoires, besoin d’investissements des producteurs pour rechercher de débouchés profitables, constat d’une tolérance en baisse sur les rejets, menace d’un monde “étouffé par les résidus” (sic), et problème de l’espace occupé par les volumes déposés en terre. L’auteur est un éco-moderniste, pro-nucléaire¹⁵, qui cherche à résoudre un problème pratique, d’économie de matières et d’énergie, en créant de la valeur. La valorisation prend déjà le double sens qui persiste jusqu’à aujourd’hui : opération de réutilisation d’un déchet et création de valeur marchande.

12. Il cite un certain nombre d’expériences réussies de réutilisation (gaz de fours à coke, vieilles halles de résidus de minerais, déchets organiques, laitiers de hauts-fourneaux, chaleurs des centrales thermiques, etc.).

13. *Annales des Mines* (oct. 1957, p. 651).

14. Ce sont les laboratoires des Houillères, d’EDF, du CERILH et des Ponts et Chaussées qui expliquent aux services techniques des sociétés cimentières l’effet pouzzolanique des cendres.

15. Dans une note de bas de page, il exprime la crainte que la nocivité des résidus freine le développement de l’activité nucléaire : “Des effets gênants (faune, flore, mutations humaines monstrueuses) sont déjà redoutés des déchets de l’exploitation des piles à uranium et des volumineux bâtis de béton devenus radioactifs, et l’importance des mesures de protection à prendre contre la nocivité de ses résidus freinera peut-être un jour le développement de l’industrie atomique.” (p. 651).

5.1.2 Prendre ses distances

Si une série de problèmes très divers incarnent historiquement ce *Problème*, celui-ci va systématiquement rencontrer la même solution : la production d'espace, qui exige des quantités gigantesques de matières (chap. 1). Cette façon d'aborder la question des déchets – soulignons que tant l'objet que l'angle d'approche ont été construits inductivement – offre un certain nombre de décalages importants avec les diverses littératures. D'abord, très peu de recherches ont porté sur les déchets considérés ici¹⁶, en particulier sur des déchets non-urbains¹⁷. Alors qu'une vaste littérature s'intéresse aux emballages plastiques, déchets ménagers, dangereux ou spectaculaires, souvent rendus invisibles du fait de leur (dé)localisation à des milliers de kilomètres¹⁸, ce chapitre étudie des déchets (relativement) ordinaires, qui sont produits dans des quantités prodigieuses (figure 5.1) et voyagent peu. De telles quantités tiennent nécessairement à distance les discussions et critiques sur la responsabilité individuelle¹⁹ ou la participation du public²⁰.

16. A notre connaissance il n'existe aucune étude dans les sciences sociales historiques sur les cendres volantes, les schistes, le phosphogypse, ou les sédiments de dragage.

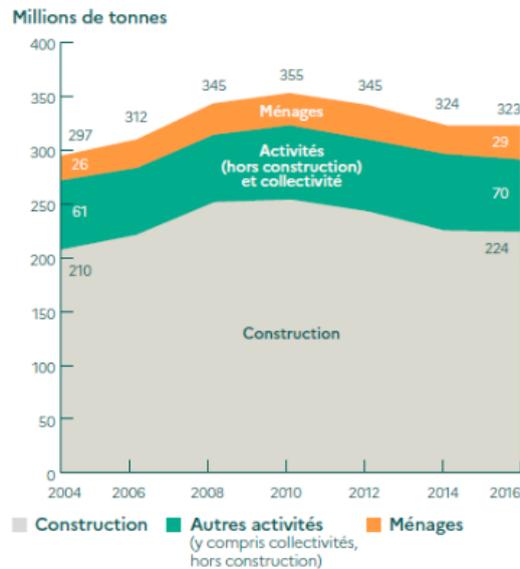
17. Sur les déchets du BTP, la récente littérature, en sociologie ou géographie, accorde une focale presque exclusive à l'urbain : D. Bonet-Fernandez, I. Petit et A. Lancini, « L'économie circulaire : quelles mesures de la performance économique, environnementale et sociale ? », *Revue française de gestion industrielle* 33.4 (2014), p. 23-43 ; R. Beulque, H. Micheaux et F. Aggeri, « D'une politique de gestion des déchets vers une politique d'économie circulaire ? », dans : Conférence OPDE - Les Outils pour Décider Ensemble, Rouen, 2016, p. 26 ; P.-Y. Mahieux et al., « Déchets inertes du BTP : Vers de nouvelles voies de recyclage », dans : Congrès national de la recherche en IUT, Nantes, 2016 ; A. Barteau et al., *La filière béton face aux contraintes environnementales. Jeu d'acteurs et légitimité d'une politique publique de soutien*, Rapport de Groupe d'Analyse de l'Intervention publique pour le Mastère PAPDD, École des Ponts ParisTech, 2017 ; L. Mongeard, « De la démolition à la production de graves recyclées : analyse des logiques de proximité d'une filière dans l'agglomération lyonnaise », *Flux* 108.2 (2017), p. 64-79 ; V. Augiseau, « Utiliser les ressources secondaires de matériaux de construction : contraintes et pistes d'action pour des politiques territoriales », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 26-41 ; A. Bastin, « Vers une gestion circulaire des matières inertes issues de la démolition et des travaux publics en région parisienne : une lecture croisant transition sociotechnique et approches territoriales », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 42-57 ; M. Fernandez et al., « Renouveau urbain et optimisation du métabolisme : une équation complexe », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 58-73 ; de façon surprenante, l'étude historique de Barles sur les déchets Paris les ignore : Barles, *L'invention des déchets urbains*, *op. cit.*

18. R. Garcier, « One cycle to bind them all ? Geographies of nuclearity in the uranium fuel cycle », dans : *Economies of Recycling : The global transformation of materials, values and social relations*, sous la dir. de C. Alexander et J. Reno, London, Zed Books Ltd, 2012, p. 76-97 ; Monsaingeon, *op. cit.* ; G. Pitron, *La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique*, Paris, Les Liens qui Libèrent, 2018 ; Armiero, *op. cit.* ; M. Manglou, L. Rocher et J.-B. Bahers, « Waste colonialism and metabolic flows in island territories », *Journal of Political Ecology* 29.1 (2022), p. 1-19.

19. L'écologie des gestes individuels s'affirme au début des années 1970, quand le message publicitaire *keep america beautiful* (1971) est massivement diffusé pour enjoindre les citoyens à ne pas jeter leurs déchets. En parallèle, les industriels de la boisson (Coca-Cola) et de l'emballage s'allient contre les consignes. La promotion de nouvelles consommations est accompagnée d'un discours croissanciste qui promeut le recyclage des matières jetées. Voir : F. Jarrige et T. Le Roux, « L'invention du gaspillage : métabolisme, déchets et histoire », *Écologie politique* 60.1 (2020), p. 31-45 ; Chamayou, *op. cit.*, p. 191-201.

20. N. Buclet, « Gestion de crise environnementale et démocratie participative : le cas de l'incinération des déchets ménagers », *Politiques et management public* 23.2 (2005), p. 91-116 ; L. Rocher, « Gouverner les déchets. Gestion territoriale des déchets ménagers et participation publique », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Tours François Rabelais, 2006.

Figure 6. Évolution de la production de déchets en France de 2004 à 2016



Source : Eurostat - Déchets générés par catégorie de déchets, dangerosité et activité de la NACE Rév. 2 [env_wasgen]

FIGURE 5.1 – Production de déchets en France depuis 2004. On observe l'écrasante domination des déchets du BTP, issus des chantiers ou des espaces produits²².

Une seconde prise de distance tient à l'aspect normatif d'un grand nombre de travaux qui s'évertuent à comprendre comment "améliorer" la valorisation, en examinant des "freins" économiques, techniques ou réglementaires. Une "économie circulaire de proximité" est présentée comme futur désirable et objectif à atteindre. Ceci est pour le moins questionnable : notre étude montre, par exemple, que la Lorraine et le NPdC ont valorisé de façon spectaculaire leurs déchets, à échelle locale, pour leurs routes, roades et autoroutes, sans que cela atténue l'extractivisme ordinaire. Souvent, le postulat de base, que ce chapitre contestera vigoureusement, consiste à admettre que "nous" serions passés d'un métabolisme circulaire (qui ne puise que marginalement dans les "ressources naturelles") à un métabolisme linéaire au cours de l'histoire – avec la recommandation normative, explicite ou implicite, consécutive : "il faut passer d'un système économique linéaire à un autre circulaire²³". Ceci est en adéquation avec la loi de "Transition énergétique pour une croissance verte", qui affirme que "la transition vers une économie circulaire [vise] à dépasser le modèle économique linéaire²⁴". Cette représentation, dont Adolphe Jarrige donne un exemple, est dominante voire hégémonique chez les ingénieurs, les juristes, les écologistes conservationnistes, les tenants

22. ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2020*, Agence de la transition écologique, 2020, p. 25.

23. C'est le cas des recherches suivantes : Bonet-Fernandez, Petit et Lancini, *op. cit.*; L. Georgeault, « Le potentiel d'écologie industrielle en France : approche territoriale et éléments de réalisation », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2015; Bastin, *op. cit.*

24. Titre IV (loi 2015-992, Art.110-1-1).

de l'Écologie Industrielle²⁵, la plupart des économistes²⁶, à l'ADEME²⁷, dans les administrations et le patronat. Tous ces travaux adoptent implicitement un cadre “problem-solving” – étant donné le *Problème*, parfois présenté comme bouclage des flux, ils se donnent pour mission de le résoudre de façon optimale (par des taxes, des lois, une participation du public, des nouvelles techniques, des politiques territoriales, voire un “modèle économique plus rentable et vertueux”). Ces études font totalement l'impasse sur l'origine historique, sociale et idéologique des problèmes – pourquoi tant de déchets à valoriser, quand et pour qui cela devient-il un “problème” et quand est-il résolu ? –, ne paraissent pas intéressées par les liens qui pourraient exister entre eux, et naturalisent (implicitement) les besoins de construction²⁸ – qui constituent une donnée de base non questionnable et non questionnée.

Une troisième séparation fondamentale consiste à sortir des études statiques et penser la dynamique propre à chaque problème des déchets – comment et pourquoi il naît, comment il est géré ou transformé, et comment et pourquoi il disparaît. Ceci implique de ne pas considérer l'objet “déchet” comme déjà défini, dans un secteur ou une filière (qu'il s'agirait, le cas échéant, de dévoiler). Ce parti pris est souvent la conséquence d'un attachement aveugle aux catégories juridiques et à la disponibilité des statistiques – partant d'une loi et des données, une étude s'attache alors à examiner comment une filière compose avec la loi sur un espace donné²⁹. Cette façon de faire se rattache souvent à l'approche “problem-solving” en ce sens qu'elle répond, implicitement, aux questionnements des politiques publiques. Ceci a comme immense défaut d'épouser le récit de la réflexivité environnementale – puisque des lois n'existaient pas avant, c'est que les sociétés passées ne se donnaient pas les moyens de traiter leurs déchets³⁰. A suivre l'actualité médiatique et à trop coller aux institutions publiques, à la fois responsables du cadrage et pourvoyeuses de fonds pour mener les recherches, on est conduit à croire que la préoccupation de la valorisation (ou du recyclage) est une nouveauté des années

25. Adoptée par les pouvoirs publics, mais aussi le patronat (*UNICEM*, avr. 2005).

26. C'est le cas d'une part majoritaire de l'économie de la proximité, de l'économie de la fonctionnalité – c'est-à-dire le paradigme de la modernisation écologique qui est repris par l'ADEME.

27. ADEME et Bio by Deloitte, *Bilan National du Recyclage 2005-2014*, ADEME, mai 2017; ADEME, *Économie circulaire - Un atout pour relever le défi de l'aménagement durable des territoires*, 2017.

28. Certains proposent d'ajouter d'autres indicateurs pour rendre compte du métabolisme d'un chantier, mais sans interroger sa finalité (la construction de dizaines de milliers de m² de bureaux en IDF) – on en déduit qu'il doit se faire mais qu'il faut optimiser les flux de matières. Fernandez et al., *op. cit.*

29. Pour les déchets du BTP : Mongeard, *op. cit.*; Augiseau, « Utiliser les ressources secondaires de matériaux de construction : contraintes et pistes d'action pour des politiques territoriales », *op. cit.*; Bastin, *op. cit.*; Fernandez et al., *op. cit.*

30. A lire de très nombreux rapports institutionnels ou travaux de recherche, les déchets (d'abord ménagers) et leur traitement, seraient apparus au début des années 1980, suivant la “prise de conscience” des années 1970 (symbolisée, entre autres, par la lutte contre les décharges illégales). Le fait qu'ils sont désormais objectivés pourrait laisser croire que “les modernes”, devenus réflexifs, s'occupent enfin de valoriser les déchets par “souci pour l'environnement”. Un article paru dans les *Annales des Mines* (juin 1990, p. 32) débute ainsi : “L'industrie a longtemps négligé la question de ses déchets. En 1975, la réglementation l'a poussée à s'en remettre à des éliminateurs spécialisés.” Notre travail conteste vigoureusement cette vision des choses : la sidérurgie, les centrales thermiques et les houillères se sont toutes préoccupées de leurs déchets bien avant 1975. Gérard Bertolini affirme qu'une “prise de conscience des possibilités de synergie entre les préoccupations d'environnement et la politique économique s'est concrétisée par la loi-cadre de 1975” : G. Bertolini, « Les déchets : rebuts ou ressources ? », *Economie et statistique* 258.1 (1992), p. 129.

1970 qui se développe avec le développement durable ou l'économie circulaire³¹. Or, si la valorisation constitue un objet récent des politiques publiques³², le temps long rappelle que ces pratiques constituent la norme dans l'histoire des sociétés occidentales, y compris dans le BTP, et que c'est plutôt le XXe siècle qui représente une anomalie³³. Afin d'éviter les discussions sur le statut changeant du mot, bousculé par les nouvelles réglementations, nous considérons ici comme déchet toutes les matières qui ont intégrés le *Problème* depuis 1945³⁴. Un dernier écart méthodologique avec certaines littératures, à l'exception des géographes³⁵, consiste à penser spatialement le *Problème*, c'est-à-dire à ne pas le réduire à des quantités abstraites de ressources, mais à le situer dans un milieu donné, dont nous restituerons la représentation dominante qui en est faite. En plus de penser dialectiquement les espaces, ce que nous avons nommé la "coproduction d'espace" (chap. 1), nous montrons l'intérêt heuristique, déjà suggéré par Lefebvre, de penser à partir de l'espace matériel et symbolique. La représentation de l'espace-déchet³⁶ comme gisement de ressources est, par exemple, une opération nécessaire pour l'insérer dans le *Problème*, alors que la description comme patrimoine l'en fait sortir. Cette façon de problématiser, en tenant compte du pouvoir symbolique inégal des acteurs, nous protège des écueils des récits purement matériels et techniques, voire mécaniques, tirés des modélisations proposées par les analyses des flux de matières sur la valorisation et le recyclage³⁷. Comme on le montrera, ces approches négligent les luttes idéologiques sur les

31. Monsaingeon relève le contraste entre l'inflation législative récente, avec un déchet "superstar" (sic) des politiques publiques, et le silence juridique pendant la période précédente. La mutation environnementale du déchet correspond à l'apparition d'un "problème public" du déchet : c'est à travers la question écologique que le déchet s'érige en objet de préoccupation collective, d'inquiétude pour le grand public. D'un déchet dont il ne fallait pas se soucier, on passe progressivement à un déchet qu'il s'agit de contrôler : Monsaingeon, *op. cit.*

32. Trois périodes dans la construction de ce paradigme contemporain du déchet sont distinguées par Monsaingeon. Entre le milieu des années 1970 et le début des années 1990, le déchet est érigé au rang de problématique globale de l'environnement : le principe d'organisation de l'action publique demeure "l'élimination"; la décennie 1990 est celle de l'institutionnalisation de la question de la participation des usagers; début des années 2000, s'ajoute l'objectif de réduction et de "prévention à la source" (à compter du 1er juillet 2002, seuls les déchets ultimes peuvent être admis en décharge). Voir : Rocher, *op. cit.*; A.-C. Savy, M. N'Diaye et M.-E. Kessari, « Le dispositif français de transition vers l'économie circulaire institutionnalise-t-il un concept ? Une analyse transversale de discours. », *Technologie et innovation* 4.2 (2019), p. 1-25.

33. Comme les historiens l'ont montré, il faut envisager d'autres réflexions (par exemple sur l'hygiène ou la santé) pour saisir les continuités des débats sur les déchets. Les restes sont devenus déchets lorsque les logiques de réutilisation ont disparu au profit du rejet (dans le dernier quart du XIXe siècle en Europe). Le verbe anglais *to recycle* est attesté depuis 1926. En France, "recycler" apparaît en 1959 et "recyclage" en 1960. Voir : Barles, *L'invention des déchets urbains*, *op. cit.*; J.-B. Fressoz, « La main invisible a-t-elle le pouce vert ? », *Techniques & Culture* 65 (2016), p. 324-339; Monsaingeon, *op. cit.*; E. Guitard et al., « Les irrécupérables », *Tracés* 37 (2019), p. 7-31; Jarrige et Le Roux, *op. cit.*

34. Les industriels réclament sans cesse l'abandon du statut de déchet. Le laitier est perçu comme déchet lorsqu'il alimente des crassiers, et cesse de l'être quand il trouve une utilisation – ainsi, un déchet est un sous-produit qui n'a pas encore trouvé de débouché (*Annales des Mines*, juin 1976, p. 42). Depuis 1995, laitiers d'aciérie de conversion sont considérés comme produits et non comme des déchets industriels par l'OCDE.

35. M. Durand, J.-B. Bahers et H. Beraud, « La mise en territoire de l'économie circulaire : comment mettre en œuvre la proximité dans la circulation des déchets ? », *Géocarrefour [en ligne]* 91.3 (2017).

36. Nous empruntons ce terme à Carré et Le Tourneau, qui en restreignent l'utilisation à l'Amérique du Nord. Comme ces auteurs le suggèrent, les espaces-déchets constituent de riches outils d'analyse tant des déchets que "des interactions entre sociétés, espaces et ressources" : Carré et Le Tourneau, *op. cit.*

37. Haas et al., « How Circular is the Global Economy ? », *op. cit.*; W. Haas et al., « Spaceship earth's odyssey to a circular economy - a century long perspective », *Resources, Conservation and Recycling* 163 (2020), p. 105076.

termes du *Problème* et se montrent par conséquent incapables d'expliquer son apparition ou disparition autre que matérielle.

Ce chapitre sort des catégories juridiques et des lectures statiques et sectorielles de l'époque actuelle pour mettre en relief un *Problème* générique, celui des masses de déchets. Si chaque problème possède son histoire propre, ses acteurs, ses techniques et ses institutions, chacun a aussi fait face à des questions similaires dont les tenants et les aboutissants le dépassent. Suivant la démarche abductive de la TR, nous n'avons postulé aucun schème explicatif *a priori* : nous restituons un modèle construit de façon progressive à partir des trajectoires de chaque problème historique. En le présentant comme un tout solidaire, nous courons bien sûr le risque de reconstruire à trop gros traits des tendances historiques possédant une dynamique qui, à y regarder de plus près, ne colle jamais parfaitement au *Problème*. En dépit des imperfections inhérentes à la "vue de loin", il est difficile de récuser l'unité constituée par la diversité des situations, et les gains d'intelligibilité à les penser ensemble. En corollaire, et c'est là une valeur ajoutée, ce travail fournit des résultats dont la portée dépasse chaque cas particulier. La section 5.2 s'intéresse à la genèse de chacun : un problème devient légitime dès lors qu'une institution assez puissante le déclare comme tel et le prend en charge³⁸. Parmi les raisons qui conduisent à l'institutionnalisation du problème des déchets, on trouve des motifs économiques et environnementaux, mais aussi un aspect pratique : les espaces-déchets occupent trop de superficie. La production de l'espace est, paradoxalement, une solution à un problème de libération d'espace. La section 5.3 explique comment sont réalisées les valorisations du point de vue qualitatif et quantitatif, ainsi que des finalités. Elle met en lumière qu'elles sont très anciennes, rationalisées, et massives, et qu'une certaine baisse de la qualité s'observe sur le temps long. La section 5.4 est la plus importante puisqu'elle entend montrer l'unité du *Problème*, en rattachant ses incarnations historiques à la dynamique des régimes d'accumulation. Sans renoncer à leurs caractéristiques, nous expliquons les différentes évolutions des espaces-déchets et trouvons le résultat suivant : rattachés après 1945 à des espaces industriels, le *Problème* devient celui de l'entretien et de la gestion des espaces produits par le Fordisme. En plus d'en être le principal réceptacle, la production d'espace devient aussi la source de la plupart des déchets. Ainsi, l'hypothèse que le *Problème* doit "faire avec" les structures matérielles du régime n'est vraie que si on le réduit aux flux. Pour la compléter, et pour avoir une intelligibilité de la question de la valorisation, il est indispensable de tenir compte de la pratique spatiale des régimes.

5.2 Problèmes géo-historiques

L'inflation d'institutions et de lois environnementales, caractéristique propre au capitalisme néolibéral (chap. 1), se vérifie dans le cas des déchets. En France, des institutions de "gestion de l'environnement", qui intègrent le cas du déchet, apparaissent à la suite de la

38. Nous suivons ici la réflexion de Frédéric Lordon. N'est légitime que ce qui est déclaré comme tel par une coalition suffisamment puissante, et le reste tant qu'elle ne rencontre pas une coalition de puissance adverse capable de l'abattre. Ainsi, "contester une légitimité n'est pas autre chose que performer un défi de puissance, c'est-à-dire entreprendre de lancer une dynamique affective collective susceptible de rassembler une puissance capable de rivaliser avec la puissance installée" : Lordon, « La légitimité n'existe pas », *op. cit.*, p. 153.

création du ministère de l'Environnement (1971) : ANRED (1975) qui devient ADEME³⁹ (1992), "Union nationale des exploitants de décharges"⁴⁰ (1972), "Observatoire National des déchets" (1985), "Conseil National des Déchets" (2001) qui devient, signe du basculement, "Conseil National de l'Économie Circulaire" (2021). Progressivement, le *Problème* de valorisation des déchets devient un aspect d'une politique de développement durable ou d'économie circulaire⁴¹. Quoiqu'elle domine les débats, à force de répétition, sa formulation ne va pourtant pas de soi : comme de nombreux auteurs l'ont souligné, elle est co-construite au cours du temps par de grandes institutions, y compris internationales (Commission Européenne, OCDE, etc.), qui ont le pouvoir de cadrer les termes du *Problème*⁴².

Au vu de la diversité des déchets présents dans le métabolisme des grandes infrastructures, deux possibilités, au moins, s'ouvrent au chercheur : en isoler un et l'étudier exhaustivement ; tenter de comprendre les liens entre ces déchets, et les régularités qui les traversent. Dans ce second choix, le nôtre, il faut expliciter les raisons de l'unité, mais aussi rendre compte du type de prise en charge. Qui décide, et pourquoi, de l'existence d'un *Problème*, et en quels termes le définit-il ? Pourquoi et comment une assertion spécifique devient-elle *Problème* pour une certaine audience, donc légitime de toutes les discussions, y compris critiques ? Avant d'envisager les causes profondes, socio-économiques et techniques, il est important d'examiner la façon dont les acteurs le présentent depuis 1945. Deux conditions, au moins, paraissent nécessaires à sa genèse : la présence d'une masse de matières encombrante et un soutien institutionnel qui présente cette masse comme problématique et nécessitant valorisation. Ceci implique qu'une grande masse de déchets peut très bien exister et ne pas être pensée comme un "problème de valorisation à résoudre"⁴³. C'est longtemps le cas, d'une façon ou d'une autre, des schistes ou des sédiments de dragage. Il se peut qu'un problème de faible intensité prenne une nouvelle dimension : c'est le cas des mâchefers d'incinération, qui deviennent plus nombreux et plus encombrants symboliquement dans les années 1970. La seconde condition rappelle que le *Problème* n'est pas le fruit d'un processus performatif et ne se réduit pas à une histoire de signes ou de mots – les immenses tas de déchets existent bel et bien.

39. L'Agence Nationale pour la Récupération et l'Élimination des Déchets fusionne avec l'Agence pour la Qualité de l'Air pour créer l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Énergie.

40. Cette organisation syndicale professionnelle appartient, comme l'UNPG, à l'UNICEM. Elle regroupe des exploitants de centres de stockage de déchets, associés parfois à d'autres filières de traitement/valorisation, qui reçoivent des résidus urbains, des déchets industriels et des matériaux inertes.

41. Depuis 2015, tous les "chiffres clés" sur les déchets publiés par l'ADEME s'inscrivent explicitement dans ce paradigme (un petit logo "économie circulaire" a été ajouté sur la couverture) ; le patron de l'UNICEM déclare régulièrement que la profession est "un moteur de l'économie circulaire" (UNICEM, jan. 2014). Voir également : MI-France, *op. cit.* ; INEC, *La valorisation des mâchefers. Une technique d'économie circulaire inscrite dans les territoires*, Institut national de l'économie circulaire, mars 2020.

42. Le projet consiste ainsi toujours à "concilier économie et environnement". Aussi la valorisation est-elle explicitement rattachée au sens économique : elle n'a d'existence que si elle s'insère dans l'espace de la valeur économique. Toute pratique de réutilisation non marchande, nommée réemploi par convention, est exclue de la valorisation. L'omniprésence actuelle de ce *Problème* est une illustration de la puissance de ces institutions et des paradigmes du développement durable et de l'économie circulaire : Savy, N'Diaye et Kessari, *op. cit.*

43. Il faut donc analyser cette mise en forme du *Problème* comme une entreprise d'assertion couronnée de succès, car fruit d'une puissance affirmative suffisante. Un exemple tiré de Kundera : si Ludvik, après une plaisanterie, est désigné comme "trotskyste", à partir d'une preuve matérielle (une carte postale), et que cela affecte concrètement toute sa vie, c'est parce que cette affirmation est celle d'un Parti (stalinien) tout puissant : M. Kundera, *La plaisanterie*, folio, Gallimard, 2016.

Cette section examine les raisons avancées par les acteurs, sans intégrer à ce stade la dynamique des régimes d'accumulation, pour déterminer de l'existence d'un problème spécifique. Elle présente d'abord la diversité des situations techniques et spatiales, et rend compte de leur ancienneté (5.2.1). Les raisons qui motivent les institutions à formuler le *Problème* changent dans le temps du fait de l'évolution des secteurs producteurs de déchets et de la transformation des termes du débat à partir des années 1970. Trois motivations sont partagées : le coût économique, le coût écologique (pris en un sens très large) et la libération de l'espace (5.2.2). Pour que le *Problème* prenne réellement chair au-delà des intentions, l'alignement des intérêts des différentes parties est nécessaire (5.2.3). Nous explicitons les paramètres quantitatifs de chaque problème – et discutons des apories d'une telle approche (5.2.4).

5.2.1 Les grandes masses de déchets – du laitier au sédiment

Chaque incarnation concrète du *Problème* est historiquement et géographiquement située. Nous présentons la variété des problèmes en explicitant brièvement l'aspect technique, qu'il est impossible de négliger puisque les déchets sont les co-produits nécessaires des procédés de production. Les caractéristiques présentées ici, outre qu'elles accentuent la disparité des situations et rendent d'autant plus remarquable l'unité présentée plus loin, sont déterminantes dans les dynamiques historiques.

Problème de production de masse

Les laitiers inquiètent le secteur sidérurgique au moins depuis les années 1880⁴⁴. Ils sont issus des différentes étapes de la production d'acier, qui suit deux filières d'élaboration. La filière intégrée concerne deux laitiers : du laitier de haut-fourneau⁴⁵ (LHF) lors de la production de fonte, et du laitier "d'aciérie de conversion" lors de la transformation, dans un "convertisseur", de la fonte en acier. La filière électrique, plus récente, engendre du laitier "d'aciérie électrique" en fondant des ferrailles recyclées dans un four électrique pour produire l'acier. Les quantités dépendent de la filière et de la concentration de fer dans le minerai⁴⁶ : plus un minerai est riche, moins la production de fonte produira de laitier (et inversement). Fin XIXe siècle, un haut-fourneau qui produit 42 tonnes de fer par jour engendre en même temps 67 tonnes de laitier⁴⁷. Dans les années 1960, une tonne de fonte génère nécessairement une tonne de LHF (ou 850 kg en 1974) si le minerai est pauvre ; environ 300 kg si le minerai est enrichi. Une tonne d'acier électrique produit 90 à 130 kg de laitier d'aciérie électrique.

44. Merceron-Vicat, *op. cit.*

45. Le minerai de fer combiné au combustible (charbon de bois puis coke) et à de la chaux comme fondant, est alimenté dans un haut-fourneau. Ce processus fonctionne en continu, la colonne de matières brutes descendant au fur et à mesure que le fer est extrait du minerai et s'accumule au fond du haut-fourneau, par gravité, recouvert par une couche de laitier plus léger.

46. Pour des détails sur la diversité et les compositions des laitiers, voir : J. Alexandre et J.-L. Sebileau, *Le laitier de haut-fourneau : élaboration, traitements, propriétés, emplois*, Paris, CTPL édition, 1988 ; P. Rossi, L. Gavois et G. Raoul, *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, C5379, Techniques de l'ingénieur, février 2014.

47. Un haut-fourneau qui produit de 30 à 60 t de fonte par jour engendre aussi 30 m³/jour de laitier, soit 10 000 m³ par an : Debauve, *Tome troisième, op. cit.*, p. 446, 564.

L'univers du charbon est associé à des déchets qui interpellent les entreprises responsables à partir du XIXe siècle⁴⁸. L'extraction est nécessairement accompagnée de schistes qui sont intercalés entre les veines et doivent être abattus avec le charbon. Ces schistes alimentent abondamment les terrils : il faut compter deux tonnes remontées pour une tonne de charbon vendue dans le NPdC⁴⁹ – la masse est considérable puisqu'on estime un total de 2,36 Gt de charbon et de schistes extraites du sous-sol du NPdC⁵⁰. Dans les années 1950, le sujet des cendres volantes, qui préoccupe Adolphe Jarrige, s'impose. Celles-ci, parfois appelées suies⁵¹, sont les résidus de la combustion du lignite ou du charbon dans les foyers des centrales thermiques. Celles appartenant aux Houillères consomment à cette époque quotidiennement 1 500 à 2 000 t de charbon, et recueille 600 à 800 t de résidus⁵². Les cendres captées sont également chargées en wagons et transportées sur des terrils dédiés.

Autre déchet ancien : le mâchefer⁵³ d'incinération des ordures ménagères (MIOM⁵⁴), qui représente 20 à 25 % du tonnage et 10 % du volume entrant dans l'incinérateur⁵⁵. Après la combustion des déchets, les mâchefers sont extraits du foyer puis refroidis à l'eau dans une fosse de réception avant d'être dirigés vers un centre de traitement où sont réalisés le criblage et déferrailage. Le mâchefer est traité et valorisé, pour des raisons d'hygiène, depuis les années 1910 – notamment dans des usines de la société TIRU, créée à l'initiative de la ville de Paris en 1922⁵⁶. Les mâchefers ne deviennent, au moins aux yeux des administrations comme l'ANRED, un problème légitime au niveau national que dans les années 1970, quand

48. K. Troch, « Ne pas grever l'avenir au bénéfice du présent. Une histoire environnementale de l'extraction du charbon de la fin du 18e siècle à l'Entre-deux-guerres : un développement non soutenable. L'exemple du Couchant de Mons et du Valenciennois », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université de Namur et Université de Lille, 2018 ; J.-P. Passaqui, « Agglomérés, agglomérer : Valoriser les charbons non marchands, en Europe, au XIXe siècle », *e-Phaistos* VII.2 (2019) ; L. Rojas, « Francis Blache et la fabrication des sous-produits de la houille : entre veille et expérimentation », *Technologie et innovation* 6.4 (2021).

49. Ce taux est un ordre de grandeur – il varie énormément dans le monde selon les régions, les mines et surtout selon la période. OFRIR, *Schistes houillers*, Rapport en ligne, Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières, 2013.

50. Avant l'installation des lavoirs, les schistes sont triés à la main et contiennent un peu de charbon. Ils sont désignés comme schistes noirs – en opposition aux schistes de lavoirs.

51. L'expression "cendres volantes" daterait des années 1930. D'après Jarrige, les cendres volantes sèches se présentent sous la forme d'un sable très fin, doux au toucher comme un velours (sic), d'un gris plus ou moins clair (*Annales des Mines*, nov. 1957).

52. Des "cendres de foyer" sont également récupérées. Par rapport à la quantité totale produite, la répartition cendres de foyer/cendres volantes s'établit dans la proportion de 15 à 85 % environ : PREDIS-NPdC, *Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP*, Plan Régional d'élimination des déchets industriels spéciaux Groupe de travail n°5, CETE - LRPC de Lille - École des Mines de Douai, 2002, p. 4.

53. Les résidus solides de la combustion issus de l'industrie comme de l'incinération des ordures ménagères sont désignés comme "mâchefers" depuis le XVIIIe : M. Letté, « Histoire, cultures et représentations d'une matière-déchet : les mâchefers du XVIIIe siècle à nos jours », *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines* 13 (2021), p. 427-461.

54. Il devient "mâchefer d'incinération de déchets non dangereux" en 2011 : RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux. Etat des lieux et perspectives*, n°13-0241/1A, octobre 2015.

55. Pour une tonne de déchets non triés, on compte : 700 kg de produits à l'état gazeux dans les fumées, 240 kg de mâchefers, 20 à 40 kg de ferrailles, 20 à 30 kg de cendres. Les MIOM sont jugés dangereux par des associations environnementalistes tout comme les résidus d'épuration des fumées d'incinération (2,5 à 5 % du tonnage entrant) : <https://www.actu-environnement.com/ae/news/machefers-incineration-dechets-valorisation-routiere-arrete-projet-14143.php4>

56. Traitement industriel des résidus urbains (*Travaux*, n°247 bis, 1934, mai 1936, déc. 1936).

les quantités s'accroissent et que l'incinération devient la principale voie de traitement des ordures ménagères, devant le recyclage ou l'enfouissement⁵⁷.

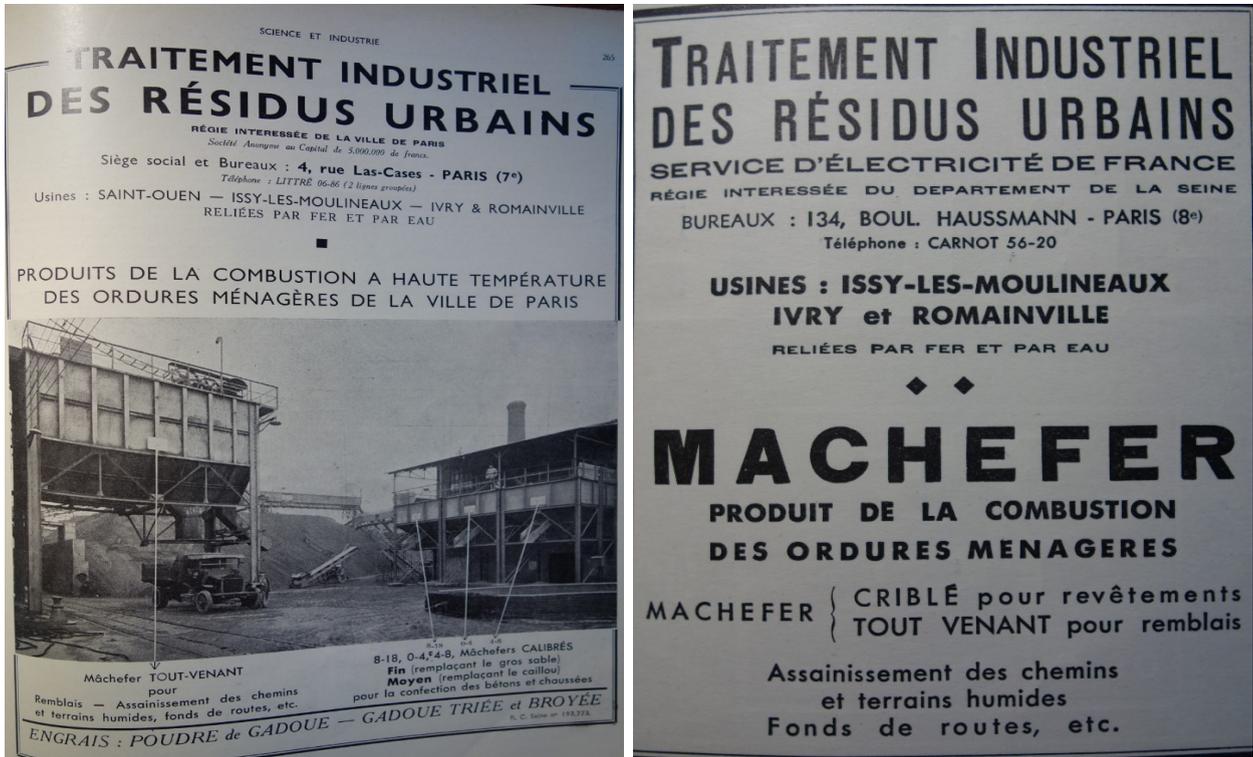


FIGURE 5.2 – Publicités de la société TIRU pour le mâchefer d'ordures ménagères⁵⁸.

Un déchet dangereux de l'industrie des engrais apparaît, et suscite des interrogations, au milieu des années 1970 : le phosphogypse (ou sulfate de calcium dihydraté). Il est le résultat de la production d'acide phosphorique : pour obtenir une tonne, il faut traiter environ 4 t de phosphate naturel par 2,5 t d'acide sulfurique (obtenues à partir de 1,25 t de soufre liquide) et la quantité de phosphogypse produite est environ de 5 tonnes⁵⁹. Le ratio entre les résidus et produits est donc nettement plus élevé que pour le laitier, le schiste ou les cendres volantes.

Tous les précédents déchets se rattachent à des flux industriels. A partir de la fin des années 1970, les déchets de la production d'espace, ou plutôt des espaces produits, attirent les politiques publiques⁶⁰. Les ingénieurs doivent faire face au vieillissement des chaussées du nouveau réseau national (autoroutes et RN renforcées), ainsi qu'aux démolitions des grands bâtiments⁶¹. Dernier grand volume de matières, qui est ancien mais ne reçoit l'attention de

57. Rocher, *op. cit.*

58. Dans la revue *Travaux* : en 1934 à gauche ; en 1950, après rachat par EDF, à droite.

59. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1982, p. 38).

60. L'idée de réemployer ou recycler des matériaux de démolition est évidemment très ancienne. A Paris au XIXe lors des travaux coordonnés par Haussmann, ou lors des reconstructions après les guerres mondiales : Rotor, éd., *Déconstruction et réemploi : comment faire circuler les éléments de construction*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018.

61. Les premières estimations, encore incertaines, inquiètent les autorités. Outre une estimation, 2 kg/hab/jour, réalisée par le *Massachusetts Institute of Technology* en 1973-75, des chiffres existent pour la région IDF : un inventaire des déchets réalisé en 1977 aboutit à 4 Mt de déchets inertes ; une étude de 1978 estime les quantités de déchets de démolition à 50 Mm³ pour dix ans. La seule démolition des friches industrielles dans la région NPdC fournirait environ 2,2 Mt (*Annales de la Voirie*, oct. 1986, p. 292).

l'État qu'à partir de 2002, lorsqu'il intègre la liste officielle des déchets⁶² : les sédiments dragués lors de l'extension et de la maintenance des ports et les rivières du pays.

Problème géographiquement situé

Comme la localisation des espaces-déchets est loin d'être uniforme sur l'espace national, le *Problème* est d'intensité inégale selon les régions (figure 5.3). Comme le transport de déchets, matières de faible (voire sans) valeur, est coûteux⁶³, et comme il est souhaitable d'éviter les déplacements des véhicules pondéreux du fait des dégâts bien connus sur les chaussées⁶⁴ (chap. 4), cette dimension spatiale les pénalise vis-à-vis des granulats, beaucoup mieux répartis et bon marché – les “granulats recyclés” ne sont compétitifs, par rapport aux “granulats naturels”, que dans les zones urbaines⁶⁵.

Les régions présentent des profils plus ou moins propices à la valorisation, et les résolutions du problème vont donc dépendre crucialement de la géographie, inégale et mouvante⁶⁶, des espaces-déchets. Les cendres volantes se situent à côté des centrales thermiques, les laitiers dans les bassins sidérurgiques, le schiste dans les zones d'extraction de charbon, les sédiments à proximité des ports, etc. Exceptés les bétons de démolition et les mâchefers, souvent traités en banlieues, la grande majorité des déchets se situe loin des villes, où les consommations de béton sont les plus importantes. Les sédiments ne sont valorisés qu'à proximité des sept Grands Ports Maritimes où ils sont très majoritairement dragués⁶⁷ (voir annexe D). D'autres aspects interviennent dans l'appariement entre les déchets et leurs valorisations : la présence de gisements de granulat et de chantiers à proximité. Le *Problème* sera d'autant plus brûlant, et d'autant plus investi par les institutions, que les gisements sont faibles et les chantiers importants – et réciproquement. La région NPdC est la plus adaptée à des valorisations massives puisqu'elle combine une présence de nombreux déchets (schistes, cendres, laitiers, sédiments, démolitions) avec de faibles gisements de granulat. La région IDF, où les grands chantiers sont permanents, devient une région propice à des taux élevés de valorisation dans les années 1970 lorsque les gisements de granulats alluvionnaires baissent et les déchets de démolition augmentent. Les ports de Fos et Dunkerque, sont depuis quelques décennies à la fois encombrés par une grande quantité et une grande diversité de déchets, et par là même

62. C. Le Guern et al., *Aide à la gestion alternative au rejet en mer de sédiments contaminés provenant du dragage de sites portuaires*, Rapport final n°RP-53470-FR, BRGM, octobre 2004.

63. Les distances contraignent moins les substituts au ciment, qui restent convoités même sur de longues distances. Du laitier est livré dans toute la France par train de 1 000 t (par exemple en provenance d'Usinor-Longwy). Le transport de cendres volantes a déjà eu lieu sur plus de 200 km entre le Nord et la Normandie pour les graves-cendres de l'autoroute A13 (*Bull. liaison*, mai-juin 1976).

64. Argument mis en avant dans *L'Équipement Mécanique* (mai 1969, p. 57) : le transport “cause des dégâts sur les voies empruntées, à un tel point que les frais occasionnés augmentent ces coûts de transport dans une proportion extrêmement importante pouvant aller du simple au double.”

65. E. Labouze, *Bâtir avec l'environnement, enjeux écologiques et initiatives industrielles*, Paris, L'Entrepreneur, 1993, p. 109.

66. Nous verrons, par exemple, que la production de laitier se déplace de la Lorraine vers Fos ou Dunkerque.

67. Ici s'ajoute une différence géologique : les ports situés sur une côte rocheuse (Bretagne Nord, Provence-Côte d'Azur) sont soumis à une sédimentation faible, alors que ceux situés dans des baies à dominante vaseuse ou à proximité d'estuaire (NPdC, Normandie, Loire, Vendée et Charente) subissent des sédimentations dont les taux varient entre 0,5 et 1 m par an : Foucher, *op. cit.*; F. Agostini, « Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins », Thèse de doctorat en génie civil, École Centrale de Lille, 2006.

au cœur d'un nombre important d'opérations de valorisation⁶⁸. La configuration à l'Est de la France a ses spécificités : comme la région et son voisinage disposent d'immenses réserves de granulats alluvionnaires bon marché, ses masses de déchets industriels sont parfois difficiles à valoriser⁶⁹ – sauf quand les cadences des chantiers le réclament⁷⁰.

Ceci conduit à des résultats qui peuvent paraître contre-intuitifs : d'abord, comme les déchets ordinaires ne se déplacent pas sur de longues distances⁷¹, la maîtrise des flux est majoritairement locale et l'empreinte spatiale des valorisations est faible⁷², et le critère d'économie circulaire locale / territoriale respecté⁷³ ; ensuite, ce sont les régions industrielles qui vont longtemps être les plus “vertueuses”. Les premières expérimentations, tout comme les valorisations à grande échelle, sont presque toujours réalisées à proximité immédiate des gisements⁷⁴. La plus grande opération de valorisation dans un seul chantier depuis 1945 satisfait les conditions : environ 8,4 Mt de laitier⁷⁵ pour la construction de quelques tronçons de l'autoroute A4 Paris-Strasbourg, surnommée “autoroute du laitier⁷⁶”.

68. J. Cerceau et al., « Au cœur des nouvelles filières de recyclage des déchets, les ports », *Annales des Mines - Réalités industrielles* 4 (2015), p. 49-53.

69. Parmi les difficultés de la valorisation de laitiers : une très grande production ; des pays limitrophes, Luxembourg et Allemagne, qui en produisent aussi ; des “ressources naturelles” abondantes ; le transport à un prix trop élevé, pour un produit de si faible valeur (*Revue de Métallurgie*, sept. 1961, p. 723).

70. C'est le cas pour les renforcements et les chantiers autoroutiers. Une section de l'autoroute A31 qui relie Thionville à Luxembourg, utilise du laitier dans toutes les couches (110 cm d'épaisseur en tout) – excepté la couche de roulement (*PCM*, déc. 1980).

71. Au contraire de nombreux déchets dangereux, les déchets inertes sont très rarement délocalisés.

72. L'empreinte spatiale du traitement des déchets se définit comme le territoire mobilisé pour les opérations “de valorisation ou d'élimination, y compris la préparation qui précède la valorisation ou l'élimination” (Directive 2008/98/CE, Article 3, alinéa 14). Elle peut être très étendue pour les déchets exportés. Voir : J.-B. Bahers, M. Durand et H. Beraud, « Quelle territorialité pour l'économie circulaire ? Interprétation des typologies de proximité dans la gestion des déchets », *Flux* 109-110.3 (2017), p. 129-141 ; Manglou, Rocher et Bahers, *op. cit.*

73. Bahers, Durand et Beraud, *op. cit.* ; Durand, Bahers et Beraud, *op. cit.* ; A. Niang, S. Bourdin et A. Torre, « L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires ? », *Développement durable et territoires* 11.1 (2020).

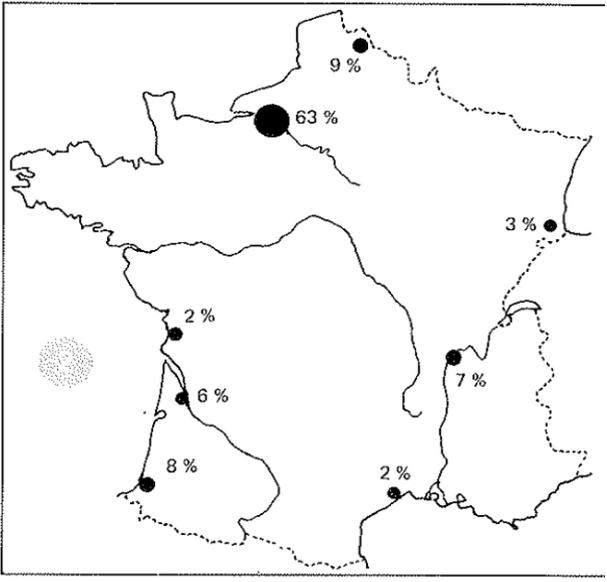
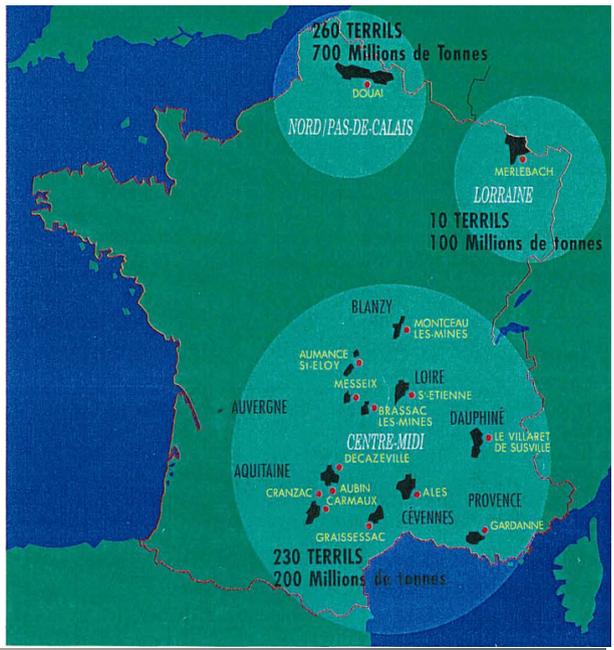
74. Les laitiers sont expérimentés en technique routière à proximité des usines. Une usine de brique de schistes est construite à Hulluch, à côté des terrils de la région de Lens. Les cendres des Houillères du Bassin minier de Montceau-les-Mines sont expérimentées dans un remblai de la RN74 voisine (*Bull. liaison*, juil.-août 1964). Pour le phosphogypse, les essais se font au Grand-Quevilly (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1982) : l'usine de fabrication de carreaux de plâtre (années 1970) ou une chaussée expérimentale près de Rouen (en 1979-80). Le mâchefer d'Ivry est testé sur la CD 73 en 1967 à Clamart : LREP, *op. cit.*

75. Dans le détail : 6 Mt de laitier concassé 2,2 Mt de laitier granulé et 150 kt de ciment laitier au clinker (*Revue de Métallurgie*, mai 1978, p. 273).

76. *LS* (1er trim. 1976).



Fig. 1 (1) Centrales produisant des cendres sulfo-calciques (2) Centrales produisant des cendres silico-alumineuses et fondues



Répartition géographique de la production de phosphogypse en France.

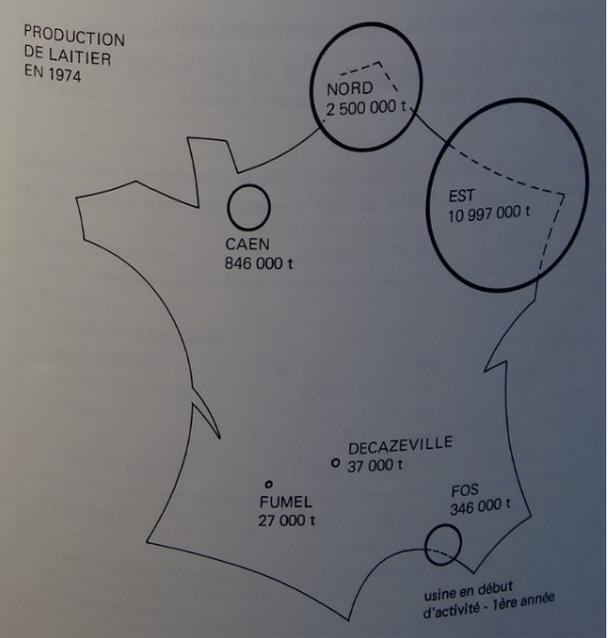


FIGURE 5.3 – Géographie du problème des déchets de masse⁷⁷.

5.2.2 De la libération de l'espace à l'économie circulaire

Depuis des décennies, les espaces extractifs sont donc bien plus variés que les seules carrières : la coproduction d'espaces relie des terrils (de laitier, de schiste, de cendre volante, de phosphogypse) à la production d'infrastructures. La longue durée nous protège du biais des débats contemporains de l'économie circulaire, puisque la plupart de ces matières étaient déjà valorisées bien avant le prétendu "éveil environnemental" des années 1970. Le recul historique révèle également des arguments communs pour valoriser les matières chez les producteurs

77. En haut : localisation des gisements de cendres volantes et du schiste houiller (*Bull. liaison*, mai-juin 1976, p. 74 ; BRGM, *Granulats*, op. cit., p. 98). En bas : phosphogypse (*Bull. liaison*, spécial VII, nov. 1978, p. 8) et laitiers (*LS*, 2ème trim. 1977, p. XIII).

de déchets. Le coût économique est, sans surprise, une raison omniprésente⁷⁸ : que ce soit le coût d'entreposer, de transporter, de trier, mais aussi le coût d'opportunité, puisque le fait de ne pas créer du profit avec les déchets est présenté comme un gâchis. Un aspect important des différentes formulations, encore présent aujourd'hui dans l'idée d'*urban mining*, consiste d'ailleurs à présenter l'espace-déchet comme un gisement de ressources à exploiter économiquement⁷⁹.

Deux autres motivations, spatiale et environnementale, animent les institutions qui définissent un problème de valorisation. Bien sûr les arguments se mélangent et se soutiennent : la mise en terril des cendres volantes correspond, selon Jarrige, "à des frais non négligeables de main-d'œuvre, d'amortissement du matériel et de consommation d'énergie". Les années 1970 constituent une rupture en ce qu'elles marquent la progressive inclusion, de façon plus ou moins directe selon les cas, de la "question" des déchets par des institutions dédiées (comme l'ANRED) dans les politiques publiques environnementales. La "raison environnementale", dont on verra qu'elle est ancienne, va coloniser les termes du débat chez les producteurs de déchets comme d'espaces – le problème d'exutoire persistant selon divers rapports nationaux⁸⁰. A partir des années 1970, et surtout 1990, la valorisation des déchets est présentée d'abord et avant tout comme une opération "bonne pour l'environnement".

Libérer les espaces-déchets

La valorisation des masses de déchets est inéluctablement une question spatiale autant qu'économique. De manière générale, il est admis qu'il n'est plus possible de stocker les déchets "en raison de leur quantité de plus en plus importante" et "de la pénurie de terrains disponibles" : la réutilisation des déchets est un "impératif" pour libérer de l'espace⁸¹. Outre que les alentours des lieux de production de déchets sont encombrés, et qu'il est impossible d'étendre les surfaces, le fait de consommer de l'espace, qui pourrait servir d'autres activités productives, dérange pour toutes les matières qui produisent des terrils : le laitier, le schiste, les cendres et le phosphogypse. Pour tous ces déchets, les ingénieurs insistent, à chaque époque, sur les "gros problèmes de place"⁸².

Dès le tournant du XXe siècle, le petit-fils de Vicat affirme que le "développement considérable de la métallurgie avait encombré le voisinage des hauts-fourneaux de scories, les laitiers, dont la masse finissait par devenir une véritable gêne. Il était naturel que les maîtres de forge

78. Un autre argument économique : la valorisation des cendres volantes contribue à l'amélioration de la balance commerciale en réduisant les importations de matériaux depuis la Belgique (*RGRA*, jan. 1970).

79. C'est le cas pour les terrils (*Annales des Mines*, mars 1971, p. 10) ; les travaux de démolition de friches industrielles (*Annales de la Voirie*, oct. 1986, p. 292), les anciennes chaussées (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1997, p. 7) ; les mâchefers : P. Piantone, P. Blanc et F. Bodéan, *Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Etat de l'art*, N°RP-50589-FR, BRGM, décembre 2000, p. 67 ; J.-B. Bahers, « Dynamiques des filières de récupération-recyclage et écologie territoriale : l'exemple du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en Midi-Pyrénées », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Toulouse 2 Le Mirail, 2012.

80. MEEDDM, *Plan d'action déchets 2009-2012*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2009 ; Sénat, *Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur le traitement des déchets*, n° 571, 2010.

81. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1980, p. 18).

82. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1982).

cherchassent un moyen de se débarrasser de ces produits encombrants⁸³. La taille de ces terrils, dits crassiers⁸⁴, étonne donc déjà avant 1914. De l'entre-deux-guerres à la Libération, plus du tiers des LHF s'entassaient dans les crassiers dont les volumes vont très vite s'accroître et susciter l'inquiétude⁸⁵. Lors des "Journées Techniques de la Route" en juin 1957, un conférencier exhorte les ingénieurs des routes à utiliser du laitier qui occupe trop d'espace et abîme les paysages ("en dressant sur nos horizons des chaos de montagnes artificielles"). Ceci le choque d'autant plus que le laitier pourrait éviter les "trous béants" que représentent les ballastières, et que les espaces dédiés aux terrils pourraient être utiles à d'autres fins, comme l'agriculture⁸⁶. La mise en crassier, environ 40 % du total de la production dans les années 1950, est d'autant plus regrettée par les défenseurs de la valorisation, que l'Allemagne y puise, au contraire, de la matière⁸⁷. Dans une communication présentée à la 6e Journée internationale de Sidérurgie en 1977, le président de la Commission Technique et de Promotion du Laitier, le patronat des producteurs de laitiers, rappelle que la valorisation est indispensable pour éviter le développement "monstrueux" de crassiers et libérer au moins 400 ha, selon lui⁸⁸. Les mêmes mots s'appliquent aux cendres volantes. Un ingénieur estime que le stockage des cendres de la future centrale du Havre (2 000 t/jour) en chambre de décantation "dévorera" 25 ha/an en 1970, et 50 ha/an en 1980. Par conséquent, il présente la valorisation comme une "obligation" devant le problème "angoissant" que pose l'évacuation de milliers de tonnes de déchets produits chaque jour "dans des régions où le sol est très encombré et où la place manque⁸⁹". Le DR s'inquiète aussi des 10 kt qui sont mises en dépôt, certains jours, dans la région Nord où les terres dédiées à l'agriculture sont "envahies" et insiste sur l'importance "[d']éliminer ces déchets encombrants⁹⁰". Les producteurs de cendres dans le NPdC souhaitent "évacuer au maximum ce sous-produit qui nécessite pour son stockage l'achat de vastes surfaces d'un sol coûteux réputé pour la culture⁹¹". Le même argument est mis en évidence pour les schistes⁹². Dernier type de terril : celui de phosphogypse de Wattrelos (Nord), qui reçoit alors 1 000 t/jour, décrit comme un cône de 15 hectares de surface de base, dont la hauteur atteint 50 m par endroits⁹³. En 1982, une étude à leur sujet insiste :

83. Merceron-Vicat, *op. cit.*, p. 154.

84. "Durant des années, jusqu'à la guerre de 1914, chaque jour à la sortie de l'école, à onze heures, ma mère venait me donner le panier du déjeuner du père. Je le lui portais à l'usine. Avant l'usine, au crassier. Le crassier, c'était une haute pyramide qui grossissait de toutes les scories qu'apportait "le coucou", une petite locomotive tirant des wagonnets. Mêlée à la poussière et aux blocs de crasse, la fonte était récupérée par le lavage des scories, pelle par pelle, dans un courant d'eau. Je trouvais là mon père avec une demi-douzaine d'hommes que je connaissais par leurs noms." Navel, *op. cit.*, p. 26.

85. Voir : *Revue des Matériaux* (mars 1925, p. 78-79) ; *Travaux* (sept. 1946, p. 336-337).

86. *RGRA* (oct. 1957, p. 66).

87. *Revue de Métallurgie* (sept. 1961, p. 737, fév. 1979, p. 101).

88. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 274).

89. *PCM* (mars 1966, p. 80).

90. *Annales ITBTP* (série M, jan. 1967).

91. Voir : *Bull. liaison* (août-sept. 1971, p. 61) ; CECA, *Utilisation des cendres volantes et du mâchefer de générateurs de vapeur chauffés au charbon*, Recueil 32, Communauté européenne du charbon et de l'acier, 1970, p. 9.

92. Voir : *Annales des Mines* (mars 1971, p. 5). Dans sa thèse, Kevin Troch déplie ce problème de la consommation d'espaces des terrils et des instabilités qu'ils provoquent à partir des années 1870. Il distingue les terrils composés de schistes remontés directement à la surface et les terrils de lavoir, composés de roches polluées aux métaux lourds (employés pour séparer le charbon des matières "stériles") : Troch, *op. cit.*

93. *Bull. liaison* (spécial VII, nov. 1978, p. 81).

“les dépôts à terre commencent à atteindre des proportions impressionnantes” et constituent “une agression dans le paysage⁹⁴”.

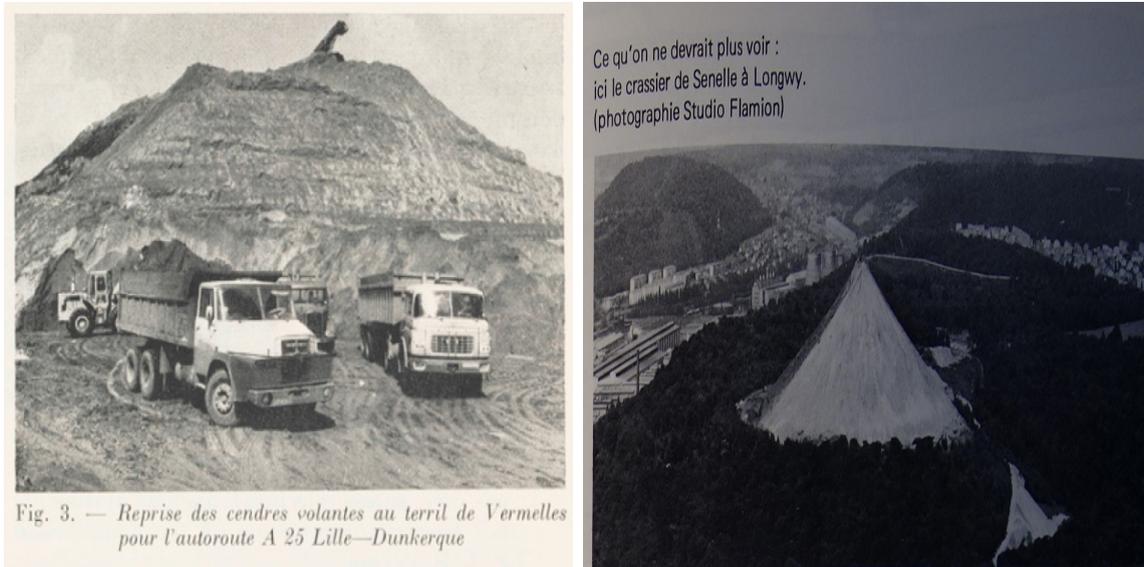


FIGURE 5.4 – Des terrils de cendres volantes et laitiers⁹⁵.

Le manque d'espace concerne aussi les décharges : une étude révèle que les surfaces concernées par les matières extraites et les mises en décharge atteignent 20 % du total de l'extension urbaine en IDF pour la période récente, contre environ 10 % à la fin des années 1980⁹⁶. C'est toujours la question de l'espace disponible qui domine les débats sur les décharges constituées de déchets inertes du BTP⁹⁷ (97 % des déchets de ce secteur) – et en particulier les déblais du Grand Paris Express⁹⁸. L'encombrement spatial concerne, enfin, les sédiments dragués qui sont stockés à terre⁹⁹. En France, ceux-ci sont très majoritairement, environ 95 % des volumes, immergés en mer (opération dite de “clapage¹⁰⁰”). Ainsi, comme l'industrie, l'activité portuaire¹⁰¹ a ses terrils (sous-marins). Le clapage des sédiments de dragage du port de Rouen (4,5 Mm³ des 5 Mm³ par an), a été réalisé, depuis 1977 vers un site localisé à 11

94. “Quoi de plus déplaisant à l'œil, en effet, que ces immenses dunes blanches aux formes géométriques au milieu des cultures ou de la végétation naturelle” (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1982, p. 37).

95. A gauche : *Annales des Mines* (mars 1971, p. 7). A droite : *LS* (1er trim. 1977, p. 39).

96. De 1987 à 2018, l'extension urbaine passe de 2 680 à 550 ha par an alors que les surfaces dédiées aux décharges et à l'extraction baissent de 310 à 120 ha par an : Fernandez et al., *op. cit.*, p. 61.

97. Les stockages illégaux concernent des centaines de milliers de mètres cubes en IDF : PREDEC, *Réduire et mieux gérer les déchets de chantier*, Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics, Région Île-de-France, 2015, p. 107.

98. Des manifestations contre une unité de stockage de déblais sur un terrain de 34 hectares à Saint-Hilaire dans l'Essonne ont été récemment commentées dans les médias (*Les Echos*, 05/03/2021 ; *Le Parisien*, 02/05/2021 ; *Reporterre*, 17/05/2021). Des terres pourraient remplir les magnifiques carrières de craie de Meudon (*Mediapart*, 05/05/2022).

99. Le Guern et al., *op. cit.*

100. Les chalands utilisés pour récupérer ces matériaux et les envoyer au large sont équipés d'un clapet permettant l'ouverture du fond du bateau. L'ouverture du clapet a fourni le mot “clapage”.

101. L'empreinte spatiale du métabolisme d'un port inclut donc les fonds marins. A notre connaissance, ces flux et ces espaces cachés ne sont jamais comptabilisés. Un épais ouvrage sur l'économie circulaire des ports ne mentionne pas le clapage : Y. Alix, N. Mat et J. Cerceau, éd., *Economie circulaire et écosystèmes portuaires*, Les océanides, Cormelles-le-Royal, Editions EMS, 2015.

km au large du Havre. Non seulement celui-ci commence à saturer¹⁰², mais en plus cette “colline” sous-marine affecte les navires et les courants : le clapage se fait désormais sur une autre “colline” quelques kilomètres plus loin.

Raisons écologiques

Pour établir un lien avec les discours de la période actuelle, nous considérons ici une version très large des “raisons écologiques”, qui comprend essentiellement des aspects conservationnistes¹⁰³. Un certain nombre de protagonistes (ingénieurs ou industriels), tel Adolphe Jarrige pour les cendres volantes, se montrent en effet soucieux d’économies d’énergie et des questions de gaspillage. Ces arguments remontent au moins à Frederick Taylor, pour qui les questions de conservation des ressources naturelles et d’organisation scientifique de la production sont solidaires¹⁰⁴. Toutes les réflexions sur le recyclage des couches de roulement des routes vont par exemple insister sur les économies des matières premières et produits pétroliers¹⁰⁵. Il s’agit aussi de soulager les tensions propres à l’extractivisme ordinaire en substituant des matériaux alluvionnaires, dont l’extraction menace les nappes phréatiques, par des granulats artificiels ou “de remplacement¹⁰⁶”. Ces arguments de promotion de la valorisation sont énoncés par des protagonistes aussi divers que le président du patronat du laitier ou le préfet de Paris (pour les déchets de démolition¹⁰⁷). Pour le laitier, cet intérêt “environnemental” ne devient dominant que dans la seconde moitié des années 1970¹⁰⁸.

Les valorisations répondent aussi à des conflits, comme lorsque les espaces vécus des uns sont affectés par les représentations de l’espace des autres. Ainsi, la constitution des terrils de cendres volantes et de phosphogypse résulte, paradoxalement, de contestations victorieuses. Dans les deux cas, le “problème” surgit donc bien après le début de la production : c’est la fin des rejets (dans l’air ou en mer) qui conduit à rechercher des valorisations à terre. Dans l’entre-deux-guerres, la plus grande partie des cendres volantes était évacuée sous forme de fumées qui se répandaient dans l’atmosphère et se déposaient sur la végétation et les bâtiments voisins¹⁰⁹. Une solution technique, qui s’impose dans les années 1950, consiste à installer un dépoussiéreur électrostatique qui les conserve dans la centrale – d’où elles sont conduites au terril. La dynamique est similaire pour le phosphogypse. Jusqu’au milieu des années 1980, une part importante est rejetée en rivière et en mer (notamment à 10 km au large dans la Manche). Les dégâts sur la faune et la flore¹¹⁰ suscitent très vite de vives réactions. Le 11 avril 1975 le président du Syndicat des marins pêcheurs du Havre dépose plainte du chef de

102. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/dragage-portuaire-consequences-environnement-deplacement-zone-immersion-mer-29318.php4>

103. Dans ce cas il s’agit d’un dérivé du problème d’optimisation des “ressources naturelles” – présent au XIXe siècle et dans le *New Deal* de Roosevelt : Audier, *op. cit.*, p. 290-294 ; Jarrige et Le Roux, *op. cit.*

104. Celui-ci fait d’ailleurs référence à Theodore Roosevelt (conseillé par Gifford Pinchot et promoteur du mouvement conservationniste) dans la première phrase de son introduction.

105. Ceci est explicité par la circulaire de la DR sur les économies d’énergie en date du 25 février 1980, qui entraînera un bref regain des chaussées rigides (en béton de ciment) et l’expérimentation de techniques moins coûteuses en matière et énergie : valorisation de béton de démolition ou recyclage d’enrobés bitumineux.

106. *Annales des Mines* (déc. 1976, p. 175).

107. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 274) ; *Annales de la Voirie* (oct. 1986, p. 290).

108. *PCM* (nov. 1977, p. 64).

109. *Annales des Mines* (oct. 1957, p. 653).

110. S’appuyant sur des mesures avant, pendant, et après les déversements de phosphogypse en mer, des recherches ont révélé les dégâts sur la faune benthique de l’estuaire de la Seine. Sur une des stations de suivi,

pollution de la baie de la Seine en exposant que certaines espèces ont pratiquement disparu depuis cinq ans et que d'autres sont en voie de disparition¹¹¹. Le cas du phosphogypse est d'autant plus intéressant à étudier que les aires de stockage à terre sont limitées et que ce produit n'est pas sans danger. Alors que les pollutions diverses se multiplient dans cette zone, ces rejets à l'eau, et la question de la mise en terre, seront largement débattus par les branches locales des syndicats (CFDT et CGT) dans les années 1970. Une convergence de luttes sociale et écologiste parvient à faire cesser certains rejets en 1979¹¹². Autres conflits : ceux autour des décharges et construction d'équipements de traitement des déchets, en particulier les 30 000 "décharges sauvages" prises pour cible par l'ANRED à partir de 1978¹¹³, ont poussé les entreprises à s'intéresser à la valorisation des déchets ménagers, matériaux de démolition et couches de roulement¹¹⁴. Enfin, les inquiétudes des pouvoirs publics, qui suivent celles d'associations (WWF, France Nature Environnement), quant à l'impact du dragage et du clapage sur les milieux, du fait de la présence potentielle d'hydrocarbures, métaux lourds ou encore PCB dans ces alluvions, ont encouragé les valorisations à terre des sédiments – c'est le sens des engagements du Grenelle de la mer¹¹⁵.

5.2.3 Aligner les intérêts

La logique générale qui préside à la mise en place de la valorisation d'un déchet est déjà celle exposée par Jarrige : une activité économique cherche à se débarrasser de déchets ; la production de l'espace a un besoin vital de grandes quantités de matières ; poussés par leurs intérêts, les secteurs concernés s'unissent pour trouver des valorisations satisfaisantes tant qualitativement que quantitativement. Ce schéma idéaltypique se repère pour toutes les grandes masses de déchets (hors secteurs agricole et sylvicole¹¹⁶) depuis 1945. L'équation

une forte baisse du nombre d'individus par mètre carré et de la diversité d'espèces a été constatée entre 1980 et 1989. Malgré l'arrêt définitif des rejets en mer en 1992, les populations benthiques n'ont toujours pas donné de véritables signes de reprises : OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, Rapport en ligne, Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières, 2006, p. 19.

111. Certains poissons pêchés étaient atteints de lésions de la peau qui les rendaient non commercialisables. La plainte mettait particulièrement en cause les rejets de phosphogypse : Y. Reinhard, « Pollution des eaux. Cour d'appel de Rouen (Ch. corr.) 21 octobre 1982. Avec commentaire », *Revue Juridique de l'Environnement* 2 (1983), p. 151-163.

112. Denis Duclos restitue ces discussions et les différentes approches par ces organisations des rapports entre emploi et environnement. Ces aspects seront débattus au congrès des syndicats CGT de la Chimie. D. Duclos, « Classe ouvrière et environnement », *Sociologie du travail* 22.3 (1980), p. 338 ; M. Lerond, « L'industrie et l'environnement. Un mariage de raison », *Études Normandes* 36.2 (1987), p. 108-118.

113. ANRED, *Pour une France propre. Les départements contre les déchets sauvages*, décembre 1981 ; Charlier, *op. cit.*

114. Au milieu des années 1970, environ 20 Mt/an de déchets de démolition de bâtiments et de chaussées sont mis à la décharge ou utilisés en remblais (*Annales des Mines*, déc. 1976, p. 175 ; *RGRA*, nov. 1993).

115. "Interdire le rejet en mer des boues de dragage polluées : mettre en place une filière de traitement des boues et de récupération des macrodéchets associés" (engagement 29a), et "Faire évoluer les pratiques d'entretien des estuaires, espaces portuaires et chenaux d'accès et les modalités de gestion des sédiments et boues de dragage" (engagement 29c). Voir : GEODE et MTES, *Dragages et immersions en mer et en estuaire. Revue des bonnes pratiques environnementales*, Groupe d'études et d'observation sur les dragages et l'environnement, février 2018, p. 12, 16.

116. Nous avons également mis de côté les déchets de la production de granulat, considérés comme impropre à l'utilisation directe comme matériau de viabilité ou construction – qui constituent jusque 10 à 20 % dans le cas des granulats de roche calcaire. Pour la seule région Nord, *Le Granulat* (août 1979, p. 12) affirme, dans

paraît simple, et rappelle la compensation entre déblais et remblais lors des terrassements : il existe un surplus de matières d'un côté, et un déficit de l'autre, comment transformer le premier de façon à le rendre utile pour combler le second.

Le *Problème* n'est pas une abstraction magiquement prise en charge par des structures sociales désincarnées. Il est historiquement rattaché à des institutions, qui non seulement le légitiment, et produisent des effets sur les représentations dans une audience plus large que les seuls spécialistes, mais s'attachent à le résoudre. Il ne suffit pas qu'il y ait des intérêts communs entre producteurs de déchets (CDF, EDF, sidérurgistes) et producteurs d'espaces pour qu'une alliance se noue, et des solutions techniques émergent "pour résoudre cet important problème technico-économique"¹¹⁷. Tout un travail de coordination est nécessaire pour rapprocher les parties afin que l'alignement des intérêts soit fructueux – par exemple entre EDF, qui souhaite se débarrasser de cendres volantes, et les entreprises responsables du chantier d'une autoroute. L'enjeu d'une solution est autant économique¹¹⁸ que technique : il s'agit d'abord de faire la démonstration qu'il existe des valorisations qui soient satisfaisantes pour tous. Ceci exige des recherches préalables coûteuses, en laboratoire et sur des chantiers expérimentaux où sont mis au point savoirs et techniques adaptés à la production d'infrastructures. Pour transformer les connaissances en réutilisations réelles des déchets, un soutien des deux univers s'avère indispensable. Alors que leur valorisation reste quasi-nulle, Jarrige déplore que le constat de potentielles utilisations des cendres volantes "ne suffit pas à assurer [leur] placement". Aussi réclame-t-il "l'engagement complet" des exploitants des centrales thermiques "pour donner une véritable impulsion". S'il est impossible de rendre compte de toutes les parties prenantes depuis 1945, nous pouvons dégager deux types de logique selon les régimes d'accumulation. Jusqu'à la fin des années 1970, l'alignement des intérêts est opéré par diverses institutions, et en particulier celles qui accumulent et développent les savoirs et techniques (Ponts et Chaussées, BRGM, CERILH, EDF). Concrètement, ce sont les réunions et colloques qui vont physiquement réunir les univers industriels et du BTP. Ce rapprochement est facilité par les propres centres de recherche des entreprises – comme "l'Institut de la recherche de la sidérurgie", qui documente les usages du laitier, ou le Service "Schistes, Cendres et Matériaux de construction" des Houillères du Bassin du Nord et du Pas-de-Calais (HBNPC) qui est chargé de développer les domaines d'utilisation pour faire disparaître les terrils de cendres et de schistes¹¹⁹. Depuis 1980 environ, l'ANRED, puis l'ADEME, coordonne les études, souvent réalisées en partenariat avec des acteurs privés.

un article intitulé "Produire mieux, gaspiller moins", que le total atteint 400 à 500 kt, soit "l'équivalent d'une carrière en moins à ouvrir". Une partie s'accumule dans des terrils qui grossissent, stérilisent des terrains et "détruisent le paysage". La revue présente la valorisation comme réponse à ce "gâchis économique".

117. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1980, p. 18).

118. Comme il est facile de trouver du granulat "naturel" bon marché partout en France, il est difficile de produire un granulat artificiel de qualité et qui soit moins cher.

119. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 10).

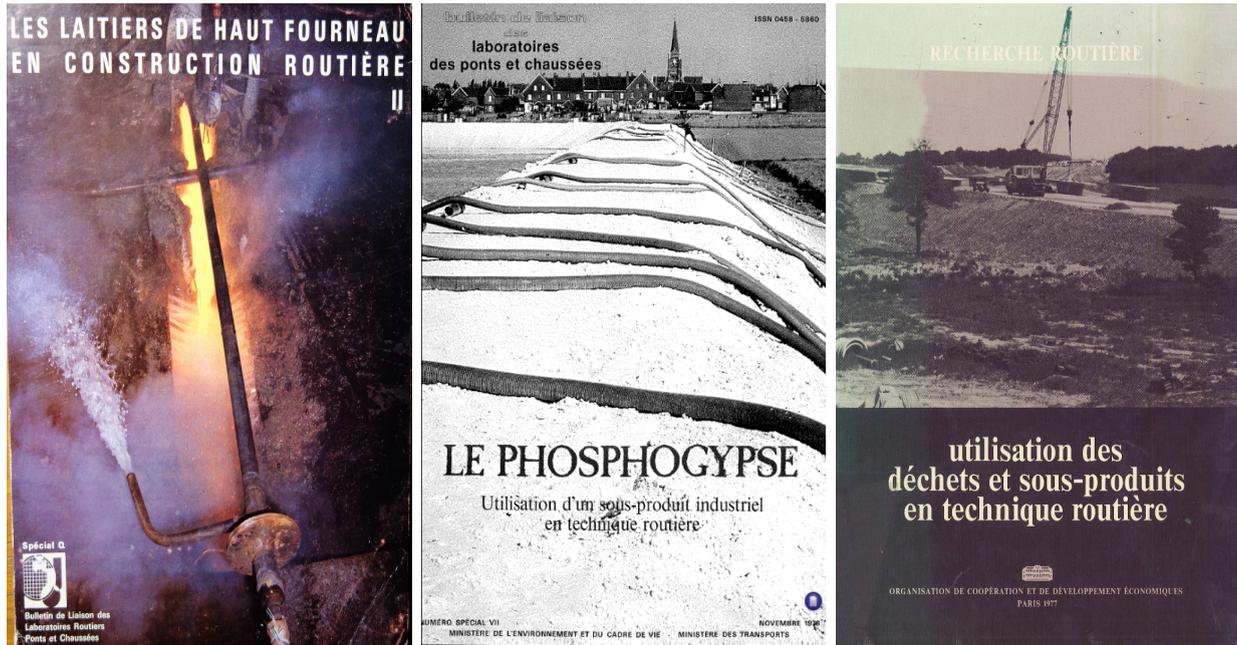


FIGURE 5.5 – Exemples de dossiers spéciaux consacrés aux déchets (LHF et au phosphogypse) en techniques routières¹²¹.

Illustrons le processus avec le cas des cendres volantes. Les laboratoires intéressés sont : le LCPC et le LRPC de Lille, les laboratoires d'EDF¹²², des Houillères, de la Ville de Paris, du CERILH, ainsi que le Laboratoire de minéralogie de l'Université de Toulouse sous la responsabilité du Centre de recherches de CDF. Ces matières intéressent également la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier (CECA) qui souhaite faciliter les échanges d'expériences entre pays membres. Le "problème de valorisation" est donc pris en charge par des institutions dotées de puissants moyens. En 1963, les parties constituent un groupe de travail et confrontent des expériences de chantiers à Douai, sous la présidence du DR. Diverses formules de couches de chaussée faisant intervenir des cendres volantes comme liant hydraulique sont examinées en laboratoire¹²³. En 1965, la CECA subventionne une recherche réalisée par le CERILH pour CDF sur le mécanisme de l'effet pouzzolanique¹²⁴. La Société des Ingénieurs Civils de France organise également une demi-journée d'étude sur "l'utilisation de déchets industriels de grande masse" le 16 novembre 1966. Ingénieurs des Ponts et Chaussées, de CDF et d'EDF (y compris Prandi et Jarrige) se retrouvent à Lens, en janvier 1969, au colloque "Utilisation des cendres pour les travaux routiers", organisé par le "Service des Schistes, Cendres et Matériaux de Construction" des HBNPC et présidé par le DR, pour faire le bilan des applications¹²⁵. Cet intense travail va conduire au développement de circuits de valorisation des cendres volantes vers les cimenteries et travaux routiers (voir plus bas). Le schéma d'alignement des intérêts, au travers de rencontres techniques, est similaire pour les

121. Voir : *Bull. liaison* (spécial Q, déc. 1970, spécial VII, nov. 1978) ; OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, *op. cit.*

122. Ponctuellement, les ingénieurs d'EDF publient sur les valorisations de cendres volantes en techniques routières (*LS*, déc. 1962).

123. Voir : *PCM* (mars 1966, p. 80) ; *Bull. liaison* (nov.-déc. 1967).

124. Jarrige, *op. cit.*

125. *RGRA* (jan. 1970, p. 90).

mâchefers d'incinération¹²⁶ et le laitier¹²⁷. Les Ponts et Chaussées sont encore omniprésents : outre leurs recherches sur l'utilisation de déchets en technique routière, regroupées dans les épais numéros spéciaux du *Bulletin de liaison*¹²⁸ (figure 5.5), ils organisent un colloque international sur “[l']utilisation des sous-produits et déchets dans le génie civil” du 28 au 30 novembre 1978 à Paris.

Dans les années 1970, la logique se modifie progressivement : l'impulsion et la coordination sont davantage le fait des ministères (Environnement, Industrie et Équipement) et non plus des producteurs de déchets et Ponts et Chaussées. À partir de 1975, de nombreuses études concernant les granulats de remplacement et les sous-produits et déchets sont prises en charge dans le cadre de la taxe parafiscale sur les granulats (chap. 1). Pour le phosphogypse, le LCPC reçoit des subventions des ministères afin d'entreprendre des recherches sur les possibilités de réutilisation¹²⁹. A la demande des ministères de l'Industrie, de la Recherche et de l'Équipement, la direction du LCPC met en place en 1976 un Groupe Spécialisé de Coordination qui étudie pendant treize ans la faisabilité de la valorisation de certains déchets et sous-produits industriels¹³⁰. Les colloques sont organisés directement par l'ANRED – comme sur “Le recyclage des déchets de démolition” le 6 février et le 25 juin 1986 à Paris et Lille¹³¹. Des institutions internationales prennent aussi davantage de place. A l'OCDE, un “groupe de recherche routière” sur l'utilisation des déchets et sous-produits en technique routière est créé afin d'évaluer l'expérience des pays membres de l'organisation dans ce domaine. A la suite de diverses réunions en 1975 et 1976, y compris dans le LRPC d'Aix-en-Provence, le groupe publie un rapport qui dresse un inventaire des déchets et sous-produits susceptibles d'être valorisés en technique routière et en décrit des utilisations en fonction des aspects techniques, économiques, énergétiques et environnementaux¹³². Pour étudier les déchets de démolition, les ingénieurs des Ponts et Chaussées reçoivent l'appui de la Réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions (RILEM¹³³), qui cherche, dès 1981, à établir des recommandations et normes pour la réutilisation des déchets du béton et organise, à partir de 1985, des congrès internationaux sur la démolition.

126. Ce sont les services commerciaux de la société TIRU, rattachée à EDF lors de la nationalisation en 1946, qui commandent les études aux Ponts et Chaussées pour les mâchefers des usines d'Issy-les-Moulineaux et d'Ivry-sur-Seine : M. Bauchard, *Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contrôles de fabrication aux usines d'Issy-les-Moulineaux et d'Ivry et constatations sur des structures de chaussée comportant du machefer*, Le Bourget : Laboratoire régional de l'Est Parisien, 1974.

127. Une journée consacrée aux “produits dérivés de la sidérurgie” est organisée le 13 avril 1961 par l'Association Technique de la Sidérurgie. Diverses applications sont discutées : la stabilisation des sols par du laitier, une chaussée tout-laitier, la substitution du laitier aux sables naturels, la confection des ballasts de voies ferrées, les agrégats pour béton, le laitier expansé, etc. (*Revue de Métallurgie*, sept. 1961).

128. *Bull. liaison* (spécial Q, déc. 1970, spécial VII, nov. 1978).

129. Le programme associe LCPC (service de chimie, départements des chaussées, des bétons et métaux) et LRPC (Lille, Rouen et Ouest parisien) avec le Centre d'expérimentations routières de Rouen (*Bull. liaison*, spécial VII, nov. 1978, p. 6).

130. *Travaux* (juin 1996, p. 65).

131. *Mines et Carrières* (mars 1986, oct. 1986) ; *Annales de la Voirie* (oct. 1986).

132. OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, op. cit.

133. Des rencontres internationales, accompagnées de pléthore d'études, se multiplient. Des articles sur le recyclage du béton paraissent dans la revue de la RILEM (*Matériaux et Constructions*, sept.-oct. 1978 ; juil.-août 1979). De 1981 à 1993, un comité technique de la RILEM a pour objectif l'élaboration d'un guide pour la démolition et l'utilisation dans le béton de granulats obtenus par le recyclage des matériaux de démolition (*Travaux*, juin 1996, p. 65).

Lors du “Symposium de l’Association internationale de géologie de l’ingénieur” à Nice en 1984, plusieurs présentations des Ponts et Chaussées sont dédiées aux granulats de remplacement¹³⁴. La première expérience de “recyclage” de béton de démolition dans une route est le fruit de la collaboration des Ponts et Chaussées (Laboratoire de l’Est parisien) avec des entreprises (Jean Lefebvre et Docks). Si l’appui scientifique reste indispensable, la centralité des Ponts et Chaussées s’atténue au cours du temps¹³⁵. Ceci transparaît dans leur relative faible participation aux rapports de l’association RECORD (REseau COopératif de Recherche sur les Déchets et l’Environnement), créée en 1989 à l’initiative du Ministère en charge de l’Environnement en collaboration avec les industriels et chercheurs. Les entreprises privées sont particulièrement présentes, et soutenues par la DR, dans le recyclage des déchets des routes¹³⁶. Depuis trente ans, les recherches sont plus éclatées au sein d’institutions variées, parfois les syndicats patronaux du BTP, qui sont constituées pour chaque déchet particulier¹³⁷, et des cabinets de conseil à qui l’ADEME confie la rédaction des rapports dédiés.

5.2.4 Les apories de l’approche quantitative

Chacun des problèmes envisagés ici est co-construit par des statistiques. Celles-ci lui donnent une consistance et servent à mesurer l’efficacité des pratiques de réutilisation ainsi que la “taille” du problème encore à régler. Cet aspect sert à rappeler que des masses encombrantes pouvaient très bien exister auparavant sans être désignées comme problématiques. Le fait même que certaines institutions procèdent à l’évaluation des quantités de déchets réutilisés, et les gisements encore disponibles, démontre leur importance à leurs yeux¹³⁸. L’exemple le plus évident est celui des laboratoires qui établissent une synthèse de chaque problème au travers des flux (leur quantité, mais aussi localisation, qualité, possibilité de collecte, difficultés de transport et de commercialisation). Si le récit du réveil environnemental des années 1970 reçoit une telle attention, c’est aussi parce que l’ANRED commence progressivement à collecter des données qui donnent naissance au *Problème* (national) des déchets. Par exemple quand, en 1983, l’ANRED publie une étude en partenariat avec le BRGM sur la réutilisation des déchets miniers¹³⁹, une lecture peu attentive pourrait en conclure que les temps ont

134. *Bull. AIGI* (1984).

135. En particulier pour les déchets difficiles à valoriser, comme les sédiments, examinés par les chercheurs de l’École Centrale de Lille et l’École des Mines de Douai depuis le début des années 2000 (au moins dix thèses réalisées dans ces Écoles sont dédiées aux valorisations de sédiments). Ces Écoles, intéressées par les sédiments dragués dans le port de Dunkerque, développent la démarche “Sédimatériaux” qui est aujourd’hui la méthodologie de référence en France de valorisation des sédiments portuaires et fluviaux. Comme le réseau routier absorbe l’essentiel des déchets, les Ponts et Chaussées restent toutefois nécessairement attachés à la plupart des recherches sur les cendres volantes (*Bull. liaison*, sept.-oct. 1994, mai-juin 1997); le laitier d’aciérie et le MIOM dans les terrassements (*Bull. liaison*, juil.-août 2000, avr.-mai-juin 2009).

136. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1992, p. 79).

137. Pour le dragage de sédiments, les institutions clés sont : Voies Navigables de France, le Centre d’études techniques maritimes et fluviales (CETMEF) et le Groupe d’Études et d’Observations du Dragage et de l’Environnement (GÉODE) – qui est créé en 1990 par le Ministère de l’Équipement.

138. Après 1945, des données des premiers Plans sur la consommation de cendres volantes et de laitier par l’industrie cimentière vont servir successivement à mettre en lumière la faible valorisation, surtout comparée aux pays voisins, et les possibles améliorations tant qualitatives que quantitatives.

139. R. Carly, *Expériences nationales de réutilisation de déchets miniers*, n°83 SGN 839 ENV, BRGM - ANRED, novembre 1983.

changé et que le problème des déchets est enfin pris au sérieux par les politiques publiques, alors que les pratiques décrites existent déjà depuis des décennies.

Conséquence de l'intense investissement dans la recherche de solutions au *Problème*, d'immenses quantités de déchets ont été valorisées depuis 1945. Il est difficile de préciser les totaux pour deux raisons : les définitions variables du déchet (une matière, comme les sédiments de dragage, devient légalement déchet d'un jour à l'autre) et de la valorisation empêchent une reconstitution cohérente de la série temporelle (il est trop difficile de reconstituer toutes les valorisations passées en suivant les conventions actuelles) ; l'absence de données sur la production de déchets et sur leur valorisation pour la majeure partie de la période. Comme il faut d'abord évaluer pour mesurer et valoriser¹⁴⁰, la question des conventions prime sur celle des quantités. Les critères de ce qu'est une valorisation sont arbitraires et contestables. Comme la valorisation doit être marchande, tout réemploi de matières sur place et toute réutilisation non marchande sont exclues des politiques publiques. Une quantité indéfinie, et potentiellement très importante, est ainsi rendue invisible des statistiques¹⁴¹. La réutilisation massive de déblais en remblais sur tous les chantiers, pratique omniprésente, n'est pas non plus qualifiée comme valorisation¹⁴², au contraire du remblaiement d'une carrière par des déchets inertes – ainsi, environ 40 Mt de déchets sont comptabilisés dans le bilan des matières valorisées chaque année¹⁴³ et servent à atteindre les objectifs fixés en termes d'indicateurs. La seconde raison consiste simplement en l'absence de données. Comme les institutions nationales qui prennent en charge l'ensemble des déchets sont récentes, il est impossible d'établir des séries pour les périodes antérieures à l'an 2000. Les chiffres sur les déchets industriels sont relativement précis et faciles à obtenir et il est possible de comparer les périodes. Les comparaisons pour les autres déchets sont impossibles, puisqu'ils émergent, du moins comme problème public, la plupart du temps à la fin des années 1970. Quelques ordres de grandeur, et quelques tendances, peuvent toutefois être établis.

La production de mâchefer d'incinération¹⁴⁴ qui augmente lentement depuis le milieu des années 1970 varie, depuis 2000, de 2 à 3 Mt par an¹⁴⁵. Les chiffres des déblais de dragage sont connus avec précision dans chaque port, mais seulement agrégés depuis les années 1990 lorsqu'émergent les législations et les institutions dédiées : de 19 à 45 Mt de matière sèche par

140. F. Vatin, *Évaluer et valoriser : une sociologie économique de la mesure*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, 2009.

141. La comptabilité aurait intérêt, pour montrer les vertus de ses politiques, à intégrer les réemplois sur les chantiers mêmes. L'UNPG l'a compris et a ainsi gonflé le chiffre du granulat recyclé dans ses rapports : UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2018*, *op. cit.*

142. C'est le choix du rapport de l'IFEN sur les déchets des routes : IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement*, *op. cit.*

143. La Société du Grand Paris cite explicitement cette solution pour ses déblais : <https://www.societedugrandparis.fr/info/gestion-et-valorisation-des-d%C3%A9blais>

144. La production annuelle d'ordures ménagères par habitant a doublé en 40 ans, avec un tassement depuis 2002 : de 170 kg en 1960 à 354 kg en 2006. Les déchets ménagers représentaient 3,5 Mt/an en 1962, 20 Mt en 1975, 29 Mt en 1991 et plus de 40 Mt en 2010 – dont 10 à 12 Mt sont incinérés. Le taux de mise en décharge des déchets ménagers en France en 2017 se situe aux alentours de 22 % (7 Mt enfouies sur 34 Mt de déchets ménagers produites). Voir : *Annales des Mines* (déc. 1976, p. 174) ; ANRED, *Les déchets en France*, 1991 ; Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*, p. 15 ; ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2012*, *op. cit.* ; RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération*, *op. cit.*, p. 11 ; INEC, *op. cit.*, p. 34.

145. Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*, p. 67 ; RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération*, *op. cit.* ; INEC, *op. cit.*

an¹⁴⁶, dont seulement 5 % sont repris et traités à terre. Les déchets du BTP, dont l'écrasante majorité sont inertes (terres, cailloux, béton), sont les plus variables selon les sources et ne sont mesurés sérieusement que depuis les années 2000¹⁴⁷. Ce sont les travaux publics qui sont les premiers producteurs, et d'abord les routes. D'après un rapport de 2006¹⁴⁸, le terrassement, la construction et l'entretien des seules routes génèrent près de 297 Mt de déchets par an, dont un tiers est mis en décharge. Environ 70 Mt de déchets et sous-produits sont valorisées en techniques routières, dont 71 % sont des déchets des travaux publics, principalement issus de la route¹⁴⁹. Le total de déchets du BTP atteint 224 Mt de déchets inertes pour l'année 2017, avec 58 % de déchets minéraux traités et "recyclés", 14 % utilisés comme remblais et 28 % stockés¹⁵⁰. Les déchets des chaussées démolies sont relativement bien documentés depuis les années 1980, mais des chiffres nationaux n'existent que depuis la fin des années 1990¹⁵¹. Le total s'accroît sensiblement, notamment à la suite du Grenelle de l'Environnement : en 2018, aux 36,6 Mt d'enrobés produits s'ajoutent 7,8 Mt d'agrégats recyclés à partir d'anciennes chaussées¹⁵². La valorisation des déchets inertes de démolition aurait augmenté de 3 Mt au début des années 1980 à 20 Mt à la fin des années 2010. En 1996, les granulats de démolition recyclés représentent 1,6 % du total des granulats consommés en France, taux qui avoisine les 6,7 % aujourd'hui¹⁵³.

Alors que les statistiques sont utilisées pour fixer des cibles, en pourcentage de déchets réutilisés¹⁵⁴, il est strictement vain et sans intérêt de déterminer un unique taux national de valorisation, car cela impliquerait d'additionner des quantités de matières dont les importances qualitatives sont sans rapport. Au niveau sectoriel ce taux est un enjeu de luttes – le patronat met systématiquement en évidence celui qui flatte son prétendu engagement "vert" : doit-il représenter la part de déchets réutilisés sur le total de déchets, ou le taux de réintroduction du déchet dans le flux qui sert à produire le bâti¹⁵⁵ ? Pour le recyclage de déchets de récupération des routes (les "agrégats d'enrobés"), on trouve 65 % pour le premier et seulement 18 % pour le second (voir annexe D). Un autre exemple de l'arbitraire et de la manipulation des taux a surgi, au moment de la rédaction de ce chapitre, dans une nouvelle brochure de l'UNPG dédiée aux chiffres de la production et consommation de granulats pour

146. Le Guern et al., *op. cit.*, p. 20 ; Foucher, *op. cit.*, p. 15.

147. L'ANRED a estimé, dans ses rapports d'activité, que ces déchets représentaient systématiquement, c'est-à-dire sans variation aucune, 100 Mt entre la fin des années 1980 et 2000.

148. IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement*, *op. cit.*

149. Les 29 % restants sont des déchets du bâtiment (10 Mt), des schistes houillers (3 Mt), des laitiers sidérurgiques (4 Mt), des MIOM (2 Mt) et des pneus. Depuis 2012, la route reçoit 12 à 15 Mt de matériaux recyclés tels les fraisâts, croûtes et bétons concassés – dont la moitié d'agrégats d'enrobés : Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*, p. 6.

150. ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2020*, *op. cit.*, p. 43.

151. Il a été estimé que 2 Mt d'enrobés sont annuellement mises à la décharge en 1979 (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1980, p. 103). En 1997, sur les 5,1 Mt de déchets, à peine 1 Mt de croûtes et fraisages sont valorisés et seulement 50 kt recyclée (*RGRA*, fév. 2000, p. 26).

152. Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*

153. Voir : Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*, p. 67 ; ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*

154. La Directive Cadre Déchets (2008/98/CE) fixe un objectif de valorisation matière de 70 % minimum en poids des déchets issus de l'activité de la construction et de la démolition d'ici à 2020. Le remblayage des carrières est comptabilisé dans le calcul du taux.

155. Il serait plus juste d'utiliser le taux de matière recyclée dans le flux "input" : F. Grosse, « Les limites du recyclage dans un contexte de demande croissante de matières premières », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 76.4 (2014), p. 58-63.

l'année 2018. Le total des “granulats de recyclage” (sic) a bondi de 24 Mt à 121,5 Mt en un an, ce qui les conduit à présenter un taux de 27 % de couverture des besoins en granulat¹⁵⁶. Le document du syndicat patronal manipule les données en intitulant son tableau “performances du recyclage des déchets inertes en France”, alors qu'il ne s'agit légalement ni de recyclage ni de valorisation puisque la matière réutilisée sur place est comptabilisée. L'UNPG a tout simplement changé la définition et le calcul du taux en ajoutant la matière réutilisée sur place par les chantiers¹⁵⁷ (voir annexe D).

Du point de vue quantitatif, il n'est donc possible d'établir que des tendances, et des réponses partielles, sur des déchets précis. Il est certain que la valorisation des déchets industriels augmente sensiblement, en quantités absolues, entre 1955 et 1975. Si l'on compare les records du début des années 1970 avec les valorisations actuelles pour les déchets industriels, il ne fait pas de doute que le Fordisme respectait davantage les critères d'économie circulaire que la période actuelle : plus de 127,5 Mt de laitier granulé et 100 Mt de laitier cristallisé¹⁵⁸ valorisés entre 1948 et 1975 ; 50 Mt de cendres volantes entre 1956 et 1980 ; au moins 240 Mt de schistes houillers jusqu'en 1994¹⁵⁹. La valorisation de laitier granulé passe de 8,3 Mt en 1974 à 2,5 Mt en 2018 (soit le niveau de 1961). La baisse est bien plus forte pour le laitier cristallisé : 400 kt en 2018 contre 6,5 Mt en 1974¹⁶⁰. Le seul réseau routier aurait consommé 12 Mt de laitiers de tous types en 1975¹⁶¹. Le même genre de décalage vaut pour les cendres (moins de 1 Mt aujourd'hui, contre 3 Mt en 1972) ou les schistes (2 Mt aujourd'hui contre plus de 8 Mt en 1972). Du point de vue national, une hausse des quantités valorisées s'observe depuis les années 1990, du fait notamment de l'augmentation des déchets de démolition dont la valorisation a augmenté de 1 Mt au début des années 1980 à 5 Mt en 1999 et 27 Mt en 2018 (voir annexe D). Les granulats issus du recyclage résument une tendance : en 2018, 15 Mt proviennent de la démolition contre moins de 6 Mt issus d'activités industrielles ; en 1975 les totaux respectifs étaient d'environ 1 Mt et 15 Mt. Du côté de la production de liants hydrauliques à partir de déchets, la chute est radicale : autour de 11 Mt au début des années 1970 contre moins de 3 Mt aujourd'hui¹⁶².

5.3 Inéluçtable dégradation des valorisations

Une fois un problème construit reconnu et légitimé, parce qu'adossé à un ensemble assez puissant d'institutions, les acteurs concernés s'attachent à lui trouver des solutions. Une même dynamique s'observe à chaque fois : expériences ponctuelles dans les laboratoires et les chantiers (souvent permises grâce à des financements intéressés par une valorisation future à

156. Le taux de recyclage ne dépasse pas les 7 % : ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*, p. 65.

157. UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2018, op. cit.*

158. Le mode de refroidissement du LHF, qui est une roche liquide (1 500°C environ), détermine ses propriétés. Rapide, il fournit du laitier granulé ou vitrifié ; lent, il fournit du laitier cristallisé. Le laitier granulé est un liant hydraulique (différent d'un ciment car il demande une activation), alors que le laitier cristallisé possède de bonnes caractéristiques mécaniques (similaires à un granulat). Le refroidissement des laitiers bruts s'est longtemps fait, faute de place et de débouchés, sur des crassiers qui sont donc constitués de laitiers cristallisés.

159. Pour les laitiers : *Revue de Métallurgie* (sept. 1961, mai 1978) ; pour le schiste : *RGRA* (mai 1995, p. 23) ; pour les cendres : Carly, *op. cit.*, p. 11.

160. Voir : *LS* (2ème trim. 1977, Annexe VIII, p. 32, 2019) ; *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 272).

161. *RGRA* (avr. 1976).

162. Infociments, *op. cit.*

grande échelle), publication des résultats dans les revues, discussions lors de colloques, améliorations et perfectionnements, rédaction de normes et réglementations sur l'usage du déchet pour l'intégrer dans les techniques de construction¹⁶³, essais sur des chantiers d'importance.

Au-delà de ce travail de prise en charge, l'examen de l'évolution des solutions matérielles envisagées, y compris dans leur dimension technique, est riche d'enseignements. Les archives montrent que les propositions cherchent systématiquement les meilleurs usages possibles, en fonction de paramètres physico-chimiques, de la localisation de chaque espace-déchet, du type de chantiers à proximité, etc. Les ingénieurs vont prioritairement chercher des substituts au ciment, plus cher et énergivore, avant de considérer le granulats. Chaque classe de déchet est divisée en fonction des propriétés physico-chimiques qui sont considérées attentivement : schistes rouge ou noir¹⁶⁴ ; cendres sulfo-calciques ou silico-alumineuses¹⁶⁵ ; laitiers granulés ou cristallisés ; etc. Schématiquement : certains laitiers et cendres volantes remplacent le ciment (ou, plus souvent, le clinker) ; schistes houillers, mâchefers d'incinération¹⁶⁶, déchets de démolition et sédiments sont étudiés pour servir de granulats de "remplacement". Comme pour l'entretien du réseau routier abîmé par les poids lourds, le cadrage empêche, par construction, de discuter de la solution la plus évidente : faire cesser, ou baisser drastiquement, la production responsable du déchet¹⁶⁷. Comme la principale destination des déchets est la route – par exemple¹⁶⁸, aujourd'hui pour 84 % des MIOM et 99 % des granulats de démolition recyclés – c'est elle qui concentre la majorité des recherches. Ici aussi, l'utilisation optimale est visée puisque ce sont les couches les plus nobles, celles proches du sol, qui constituent la destination privilégiée, avant les couches en profondeur. L'aspect technique du *Problème* ne pose pas de difficulté, excepté pour le phosphogypse. Le DR résume cet état d'esprit, un brin triomphant, en conclusion d'un colloque dédié à l'utilisation des cendres pour les travaux routiers : "du moment qu'il y a des cendres volantes, il n'y a pas de raison que ces techniques ne connaissent

163. Des circulaires déterminent les critères exigés pour les valorisations en technique routière, suscitant l'espoir des producteurs de déchets – et parfois les protestations des associations, comme dans le cas du MIOM, potentiellement dangereux, dont la valorisation est légitimée par une circulaire en 1994.

164. Le déclenchement naturel de la combustion dans les terrils de forme conique lié à la présence du charbon résiduel disséminé dans la masse et à son alimentation en oxygène par les vents dominants, conduit à des schistes de couleurs différentes selon leur combustion et la transformation des oxydes de fer présents dans les schistes : schiste noir (pas de combustion) ; schiste orange (combustion faible) ; schiste rouge (auto-combustion des schistes noirs dont la teneur en carbone résiduelle était suffisante) ; schistes violets (combustion importante). Une meilleure séparation a conduit, dans les dernières années des HBNPC, à un taux extrêmement faible de charbon dans les déblais ("stériles"). Les terrils les plus récents ne brûlent donc plus : P. Rossi, L. Gavois et G. Raoul, *Utilisation des sous-produits industriels – Schistes houillers*, C5371, Techniques de l'ingénieur, 2008.

165. Les premières résultent de la combustion de lignite et contiennent une forte proportion de chaux qui leur confère les mêmes propriétés hydrauliques qu'un ciment à prise lente ; les secondes proviennent de la combustion du charbon et ont besoin de chaux pour que la prise se fasse.

166. Un phénomène de prise hydraulique a pu être mis en évidence, suscitant l'espoir de valorisations intéressantes (*PCM*, nov. 1977, p. 66) – qui n'aboutiront pas. Les caractéristiques physico-chimiques des MIOM présentent une variabilité importante du fait de la composition des déchets entrants dépendant elle-même du type de collecte (présence ou non de tri sélectif en amont), de la saison, mais également du type d'incinérateur et de son mode de conduite : RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération*, *op. cit.*

167. Ponctuellement un rapport mentionne cette option. C'est le cas d'un encadré, "La réduction des déchets reste la priorité", enfoui au milieu d'un rapport sur le mâchefer : INEC, *op. cit.*, p. 25.

168. Plus récemment, pneus et plastiques ont intégré les travaux routiers : remblais, mobiliers urbains, murs antibruit, etc.

pas des jours très heureux. (...) là, je me tourne vers les deux producteurs en disant ceci : les techniciens savent tout faire. Ils l'ont prouvé aujourd'hui. A condition d'avoir l'argent et le temps, ils savent résoudre les problèmes¹⁶⁹”.

L'aspect qualitatif est indispensable aux débats (en particulier sur l'économie circulaire) : les seuls taux ne disent rien sur ce qui est fait de la matière, ni sur l'espace qu'elle contribue à produire. Dans cette section, nous souhaitons rendre compte de quelques tentatives de valorisation de déchets, par des acteurs publics ou privés, couronnées de succès ou non, qui révèlent les investissements consacrés de longue date au *Problème*. Nous jugerons une réutilisation “meilleure” qu'une autre dans une perspective technicienne : si elle sert une partie noble d'un ouvrage ou un chantier important. Ainsi 1 Mt réutilisée dans une couche noble d'une autoroute sera jugée meilleure que la même masse dans un remblai paysager ou dans le remplissage d'une carrière. Nous montrons une double dégradation qualitative des valorisations : moins de déchets utilisés comme liants hydrauliques et toujours plus de déchets qui ne trouvent une valorisation qu'après un traitement au liant hydraulique ; des espaces produits grâce à ces déchets toujours plus pauvres. Ce passage d'un surcyclage à un sous-cyclage¹⁷⁰ est inéluctable du fait de la diminution des productions de laitiers et cendres volantes.

Déchet	Valorisations	Qualité
Laitier granulé	Cimenterie et Couches de base	Très bonne
Laitier cristallisé	Travaux routiers (couches nobles)	Très bonne
Cendre volante	Cimenterie et Couches de base	Très bonne
Schiste houiller	Travaux routiers (couches profondes et remblais)	Bonne
Mâchefer	Travaux routiers (remblais)	Très mauvaise
Déchet de démolition	Travaux routiers (couches profondes et remblais)	Mauvaise
Déchet de route	Retraitement des chaussées	Très bonne
Phosphogypse	Accotements, remblais	Très mauvaise
Sédiment	Remblais	Très mauvaise

TABLE 5.1 – Tableau synthétique des qualités des valorisations des déchets (sans tenir compte de l'espace qu'elles produisent).

5.3.1 Laitiers granulés

La valorisation des laitiers granulés dans des programmes importants de production d'espace illustre l'ancienneté des réflexions et des pratiques et prouve une haute qualité technique et un souci d'optimiser l'utilisation de laitier granulé comme liant et non comme granulats¹⁷¹. Ce succès est imité par les cendres volantes.

169. *RGRA* (jan. 1970, p. 91).

170. En général, l'élaboration de produits recyclés présentant une valeur équivalente ou supérieure à la valeur initiale est appelée *upcycling*. Lorsque la qualité du produit initial baisse, ou qu'il faut une consommation d'énergie et de ressources additionnelles pour son traitement, il est question de *downcycling*. La réutilisation de déchets inertes concassés en remblais routiers est un exemple prototypique de sous-cyclage.

171. L'emploi du laitier comme matériau de construction apparaît déjà au XVIIIe siècle lorsque son utilisation est recommandée comme masse d'addition aux mortiers de chaux et de sable. Les propriétés hydrauliques de ce laitier n'étaient pas régulières (*Revue de Métallurgie*, sept. 1961, p. 735). Les utilisations pour l'empierrement des routes et le ciment sont décrites par Merceron-Vicat, *op. cit.*, p. 154.

Ciment de fer

La propriété hydraulique de certains laitiers est connue au moins depuis Vicat en 1826, sans que le mécanisme de la granulation ne soit bien compris. A la suite d'innombrables recherches et expériences, les propriétés et atouts du laitier granulé sont mis en évidence en Allemagne en 1861¹⁷². Les perfectionnements sont tels qu'un laitier de bonne composition, granulé dans les conditions adéquates, présente une résistance comparable à celle des meilleurs ciments Portlands. C'est une connaissance partagée dans le monde savant : dès la fin des années 1880, Le Chatelier prône l'utilisation de ciment de laitier granulé¹⁷³. A la fin du XIXe, l'industrie du "ciment de laitier¹⁷⁴", ou "ciment de fer", est née. Dans les années 1890, une première usine fabrique des ciments en utilisant du laitier dans la Meuse et Lafarge produit du ciment de laitier¹⁷⁵. Comme le laitier est disponible gratuitement ("sans valeur commerciale"), comme son mélange avec de la chaux grasse est facile à réaliser partout et à bas prix, son rapide développement menace même les ciments, bien plus coûteux à fabriquer. Selon Merceron-Vicat, "on put croire un moment que l'industrie des Portlands artificiels allait être détrônée". Le ciment a été sauvé pour deux raisons : d'une part, les fabricants de Portlands ont perfectionné leurs procédés de fabrication et réduit leurs prix de revient suffisamment pour ne plus trop redouter la concurrence; d'autre part, les directeurs de fonderies ne se sont jamais préoccupés de granuler le laitier dans les conditions qu'on leur indiquait – ou ont refusé de s'engager au sujet de la composition du laitier –, de sorte que les ciments de laitier gardaient une qualité trop variable¹⁷⁶. Un regain d'intérêt pour les ciments de fer, explicitement lié au problème des déchets¹⁷⁷, s'observe dans les années 1920. Il ne s'agit pas de produire un ciment avec le seul laitier, mais de le mélanger au clinker qui est coûteux à produire – l'Allemagne reste le modèle à imiter¹⁷⁸. En France, les premiers ciments au laitier ne figurent dans les cahiers des charges qu'à partir de 1928 et apparaissent dans les normes de construction seulement en 1934¹⁷⁹. Les laboratoires des Ponts et Chaussées (comme celui de Boulogne-sur-Mer, où travaille un grand spécialiste du ciment, Féret) sont déjà impliqués. Dans les années 1920, il existe une chambre syndicale des fabricants de ciments de laitier (dont

172. Leduc, *op. cit.*, p. 49.

173. Voir aussi : *Annales PC* (mars-avr. 1931); Debauve, *Tome troisième, op. cit.*; Taylor et Thompson, *Concrete costs, op. cit.*

174. Ceci est un nom générique. Il existe une grande variété selon les pourcentages de laitiers : Portland au laitier, Portland de fer, ciment de haut-fourneau, ciment de laitier au clinker, etc. Chacun est associé à une norme française (*L'Équipement Mécanique*, juil. 1955).

175. Voir : *Revue des Matériaux* (nov.-déc. 1955, p. 28); Barjot, « Lafarge », *op. cit.*

176. Merceron-Vicat, *op. cit.*, p. 154-157.

177. "Il est incontestable qu'un des graves problèmes industriels réside dans la suppression des déchets et, dans bien des pays, si on avait adopté des méthodes scientifiques de travail, les habitants pourraient en grande partie vivre avec ce qui était envoyé au rebut. On trouve un exemple typique de la véracité de ces observations dans le fait que des millions de tonnes de cendres, de scories des chaudières à vapeur, destructeurs de résidus et autres foyers, par exemple, ainsi que les laitiers de haut-fourneau se perdent chaque année, alors que toutes ces matières pourraient, avec un profit appréciable, être transformées en briques" (*Revue des Matériaux*, mars 1925, p. 78-79).

178. En 1901, il est juridiquement décidé en Allemagne que tous les ciments contenant en mélange au maximum 30 % de laitier, s'appelleront "Ciment Portland de fer" (*Revue de Métallurgie*, sept. 1961, p. 735). Une commission pour l'étude de la valorisation du laitier y est active dès 1921 (*Travaux*, mai 1934, p. 204-210).

179. Environ 150 kt de laitier granulé ont été consommées dans les cimenteries françaises lors de la construction du métropolitain parisien en 1900-1901 (*Revue des Matériaux*, juil. 1935, jan., mai, déc. 1939).

certaines membres écrivent dans la *Revue des Matériaux*). Un premier pic de consommation de 600 kt de laitier par les cimenteries est atteint en 1932¹⁸⁰.

Le laitier dans la reconstruction

A une époque où l'urgence de produire l'espace est évidente du fait des destructions, l'industrie cimentière est l'une des six priorités nationales du Premier Plan de modernisation. Alors que la production de ciment avoisine les 3 Mt en 1946 (dont 500 kt de laitier), le Plan recommande le développement rapide et massif de l'emploi du ciment de fer, et préconise d'adapter "immédiatement les cimenteries à la fabrication du ciment de fer et les usines sidérurgiques à la fabrication de laitier granulé¹⁸¹". Il émet plusieurs conditions nécessaires : augmenter les installations de granulation du laitier ; encourager le transport en vrac ; l'abandon par la SNCF et les Ponts et Chaussées du laitier granulé au profit de matériaux de carrière ou les laitiers cristallisés de crassier. L'objectif est très ambitieux – une production de 13,5 Mt de ciment dont 5 Mt de laitier pour 1950¹⁸².

La motivation principale du développement de la fabrication du laitier tient à l'amélioration du "bilan charbon¹⁸³". Le charbon est, de fait, la matière première la plus contraignante du ciment¹⁸⁴. Or le ciment de fer évite la production de clinker, de loin la phase la plus énergivore. Le Plan estime que la production de laitier exige 50 kg de charbon à la tonne, contre 320 kg pour la fabrication d'une tonne de ciment Portland¹⁸⁵. Ses préconisations, fruits de réunions entre différentes Commissions sur les "ciments de laitiers¹⁸⁶", doivent permettre, sur la période de quatre ans, une économie de plus de 3 Mt de charbon (ou 35 % de la consommation totale). En 1948, la part du ciment artificiel dans la production totale des ciments est de 59,3 % – les autres ciments utilisant majoritairement du laitier¹⁸⁷. L'objectif ne sera pas atteint en 1950, mais la IVe République valorisera, dans sa brève existence, plus de 26 Mt de laitier granulé en cimenterie, notamment pour des barrages¹⁸⁸. Les rapports des

180. Blanchard décrit le ciment de laitier comme un mélange de chaux et de laitiers granulés. Ce ciment est "employé dans les fondations et pour les liants armés, comme les meilleurs ciments" : Blanchard, « L'industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *op. cit.*

181. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Rapport Général sur le Premier Plan de Modernisation et d'Équipement*, Paris, novembre 1946, p. 46, 150.

182. La Commission des Matériaux de Construction suggère d'atteindre, en 1950, une capacité de production de 9 Mt de ciment et 5 Mt de laitier, sans compter "l'utilisation directe dans les centrales de béton de 1 Mt de laitier" : *idem*, *Premier rapport de la Commission de Modernisation des Matériaux de construction*, *op. cit.*, chapitre VI "Liants", p. 79.

183. *Travaux* (sept. 1946).

184. Tant qu'il sert aux fours des cimenteries, le charbon participe donc à la production de l'espace et la rigidité de l'espace. Il est parfois considéré comme matière première de l'industrie cimentière : Blanchard, « L'industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *op. cit.*

185. Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Premier Plan*, *op. cit.*, p. 46.

186. Commission de la Sidérurgie avec la Commission des Houillères, à propos du "contingent de charbon à allouer à la Sidérurgie". Avec celle des Matériaux de Construction, présidée par Caquot, qui a aussi dirigé les sous-commissions "laitier" et "liants". Celui-ci prononce une conférence en janvier 1947, lors d'un cycle sur le Plan d'Équipement et de Modernisation organisé par la Présidence du Conseil, dans laquelle il insiste lourdement sur les gains du laitier granulé comme alternative au ciment (*La Construction Moderne*, mars 1947).

187. *Revue des Matériaux* (nov.-déc. 1955, p. 34).

188. Pour économiser 30 kt de charbon en cimenterie, 120 kt de ciment de laitier est utilisé pour la construction du barrage de Bort (*Annales ITBTP*, série LH, juil.-août 1951 ; *L'Équipement Mécanique*, déc. 1953).

commissions du BTP des Plans successifs poursuivront les débats sur ces valorisations, en intégrant le problème des cendres volantes¹⁸⁹.

Engouement et échec du tarmacadam de laitier

Un industriel va s'avérer particulièrement actif dans la recherche de débouchés pour les laitiers en technique routière, et le rapprochement des univers de la sidérurgie et de la construction : il s'agit d'Albert Cochery, qui commercialise les LHF à partir des années 1920. Comme la production ne parvient pas à suivre la demande, Cochery décide en 1931 de se lier à des groupes sidérurgiques lorrains¹⁹⁰. La propagande des *Entreprises Albert Cochery*, dans une période où la rivalité entre liants (hydraulique et hydrocarboné) est vive, est déjà omniprésente dans les années 1930 *via* les publicités et ses propres articles¹⁹¹. Son obsession de débouchés va le conduire à promouvoir une technique particulière : le tarmacadam de laitier. Il s'agit de mélanger un enrobé à chaud de laitier concassé et criblé avec un certain goudron (le laitier étant le matériau le plus apte à l'enrobage par le goudron¹⁹²).

En 1946, à la suite d'un chantier expérimental prometteur, que son entreprise réalise en 1945 avec le centre expérimental des techniques routières de Blois (futur LRPC), il crée la "Société d'Exploitation des Laitiers de Longwy", en association avec les Aciéries de Longwy. La construction d'une nouvelle usine de concassage de laitier et de fabrication de tarmacadam est entreprise à Joeuf, en Meurthe-Moselle (dans le but est de réduire la distance aux hauts-fourneaux¹⁹³). En 1947 il crée, avec d'autres sociétés routières de tarmacadam, le Syndicat des Producteurs de Tarmacadam de laitier en vue d'influencer les pouvoirs publics dans le choix des techniques routières et la définition des produits. En octobre 1950, il invite des membres d'administrations importantes, des ingénieurs et entreprises, Français et étrangers, à visiter des usines de production et des chantiers d'application de tarmacadam de laitier. Sont présents : Boutet, à la fois président de l'association internationale des Congrès de la Route et vice-président du CGPC, le secrétaire d'État aux Travaux Publics, le DR et le Directeur des bases aériennes. C'est une opération de séduction qui vise explicitement à montrer la faisabilité technique (avec du matériel et des techniques brevetées par Cochery) de la valorisation de laitier dans les travaux publics¹⁹⁴. Autre invitation, autre démonstration, autre preuve de l'influence et du zèle d'Albert Cochery, le 1er juillet 1951 lors du Grand Prix d'Europe Automobile. Le revêtement du circuit de Reims-Gueux, où se déroule la course, à laquelle assiste la crème du monde automobile et des travaux routiers, est pour partie constituée de ce produit¹⁹⁵. L'utilisation de LHF dans les chaussées en tarmacadam en Angleterre, dix fois supérieure, est régulièrement commentée¹⁹⁶. Certaines pistes d'envol des bases de

189. Soucieux d'économies d'énergie dans la production de ciment, le troisième Plan préconise d'incorporer "une proportion accrue de ciment de laitier ou de cendres volantes" : Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Troisième Plan, op. cit.*, p. 152.

190. Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées, op. cit.*, p. 215.

191. *Travaux* (LR, 1934, LR, 1937).

192. Le brevet britannique pour la fabrication du tarmacadam remonte à 1904. En France, c'est le futur créateur de la *Sacer* qui procède, en 1913, aux premiers essais dans le bois de Boulogne : Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées, op. cit.*, Annexe 4.1.

193. *LS* (oct. 2012, p. 9).

194. *Travaux* (déc. 1950, p. 793-796).

195. *Travaux* (août 1951).

196. *RGRA* (déc. 1950).

l'OTAN, qui imposent une cadence que ne peut suivre la production de liant bitumineux, sont construites en tarmacadam de laitier ou en béton avec du ciment de laitier¹⁹⁷.

Si la production de tarmacadam de laitier double entre 1949 et 1952 (de 203 à 433 kt), la technique disparaît progressivement dès les années 1950. En écho à cette mutation, le syndicat, présidé jusqu'en 1972 par Cochery, voit son nom se détacher du tarmacadam¹⁹⁸. La revue du syndicat, souvent annuelle, illustre la collaboration avec les ingénieurs routiers : recherche sur l'emploi du laitier granulé en couche de fondation ; publications régulières du DR¹⁹⁹. Quantitativement, le tarmacadam aura été un échec. Mais les efforts de Cochery pour l'utilisation de laitier en techniques routières²⁰⁰ seront récompensés dans les années 1960 et 1970, notamment grâce à l'innovation de la grave-laitier.

Renforcements coordonnés

Le programme des renforcements coordonnés (chap. 4) est certainement la politique de valorisation de longue durée la plus aboutie, tant au niveau qualitatif que quantitatif. Les recherches des laboratoires des Ponts et Chaussées (en particulier le LRPC d'Autun) sur le laitier comme liant hydraulique amènent les entreprises routières à s'intéresser aux techniques de graves-laitier (GL). L'inconvénient des laitiers et des cendres par rapport aux ciments, le retard initial du durcissement, est transformé en atout du fait que les chantiers doivent se faire sous circulation (au contraire des autoroutes). Cette valorisation illustre la logique de construction du *Problème* et de ses solutions : i) des industriels souhaitent se débarrasser de grands volumes de déchets ; ii) l'État cherche des grandes quantités de matières pour la production de l'espace qu'il promet ; iii) un programme de recherche est établi en vue d'identifier les solutions les plus optimales. Alors que les autres valorisations sont parfois partielles, ponctuelles voire marginales, ici nous avons un exemple d'utilisation systématique, massive, qui s'étale sur une dizaine d'années. Cette politique de valorisation de sous-produits industriels, qui n'a aucune motivation "écologique", distingue la France des autres pays – où les liants industriels, comme le ciment et le bitume, dominant²⁰¹.

Ce succès, du point de vue des protagonistes, et du "problème" à résoudre, tient aux investissements institutionnels qu'il a reçus. Dès 1964, la DR, consciente de l'intérêt de valoriser ce sous-produit industriel et séduite par les avantages techniques du procédé, a consacré d'importants moyens (entre 1964 et 1978, on peut estimer qu'elle a consacré en moyenne 2 MF de recherche chaque année au traitement au laitier). L'énorme engouement des ingénieurs des Ponts et Chaussées à partir de 1962 est directement perceptible dans les centaines d'articles dédiés à son sujet dans les revues²⁰². Aidé par les entreprises routières et sidérurgiques, soutenu plus tard par la CECA, un groupe de recherche est constitué au LCPC pour penser

197. Voir : *Travaux* (mars 1959) ; *RGRA* (mai 1976, p. 119).

198. Le syndicat se nomme "Association Technique pour le développement des Utilisations des Laitiers" en 1956, puis "Centre Technique et de Promotion des Laitiers sidérurgiques" en 1979.

199. Voir les articles dans *LS* (1957, 1958, 1959). En 1959, le DR y vante "Le laitier granulé, liant hydraulique pour routes".

200. En partie du fait de l'immense travail de Cochery, du laitier est très ponctuellement réutilisé dans la construction – comme à Reims (*LS*, août 1958, jan. 1959, déc. 1961). Les entreprises de laitier participent au salon BATIMAT en 1963 (*LS*, déc. 1963).

201. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 281).

202. Il s'agit aussi de remplacer la grave-ciment (*Bull. liaison*, mai-juin 1975, p. 56).

l'utilisation des laitiers et cendres volantes en techniques routières²⁰³. Les laitiers intègrent les directives dès les années 1960²⁰⁴ et 1970²⁰⁵.

Les ingénieurs profitent des énormes quantités disponibles qui permettent de répondre aux importantes cadences journalières de fabrication et de mise en œuvre²⁰⁶. Comme le préconise la circulaire du 12 avril 1968, la GL est la seule technique utilisée en couche de base de 1969 à 1972. La production de laitier granulé étant très concentrée, et les applications étant réparties sur tout le réseau national, une "Commission nationale des laitiers" est créée par la DR en 1970 pour gérer l'approvisionnement²⁰⁷. Comme le nombre de chantiers augmente, les techniques et matières employées se diversifient et d'autres innovations surgissent : graves-bitume²⁰⁸, graves-émulsion, graves-ciment²⁰⁹ ou graves-cendres volantes (figure 5.6). Au gré des aléas économiques, hausse des prix du pétrole, ou de nouveaux problèmes des déchets, de nouvelles matières seront incorporées à la politique d'entretien, qui constitue une immense opération de valorisation²¹⁰. La technique de la grave traitée au liant hydraulique sera également appliquée, quoi que de façon non systématique, aux autoroutes²¹¹. Au milieu des années 1970, le Syndicat des producteurs de LHF annonce que les routes françaises ont consommé 12 Mt de LHF (granulé et concassé), pour des renforcements, élargissements, déviations et autoroutes²¹².

203. Voir : *PCM* (mars 1966) ; *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 284).

204. En décembre 1965, dans les *Instructions techniques pour le dimensionnement des chaussées souples* ; en août 1969 dans un dossier pilote du SETRA (*L'Équipement Mécanique*, mars 1969).

205. SETRA et LCPC, *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-laitier et sables-laitier*, *op. cit.* ; DRCR, *Directive pour l'exécution des renforcements de chaussées*, *op. cit.*

206. Il faut de 3 à 5 kt pour les graves hydrauliques de la couche de base (sans compter les autres couches).

207. Son rôle de coordination entre le Ministère de l'Équipement, maître d'ouvrage du réseau routier français, et la sidérurgie nationale dépendant de celui de l'Industrie, va s'affaiblissant avec la privatisation des réseaux autoroutiers et celle de la sidérurgie en 1986.

208. Voir : *Bull. liaison* (mai 1971) ; *RGRA* (jan. 1985, p. 22).

209. La grave-ciment existe expérimentalement depuis 1955. D'abord marginale dans les renforcements, elle devient courante à partir de 1974.

210. Dans la revue *Laitiers de hauts fourneaux* (qui devient *Laitiers Sidérurgiques* en 1991) de 1983 à 1985.

211. Un total de 160 kt de laitier de Longwy sert la couche de base du tronçon Senlis-Chevrières de l'autoroute du Nord (*L'Équipement Mécanique*, avr. 1965, p. 80). Sur l'autoroute A6, la pénurie en matériaux a conduit à l'utilisation de 600 kt de GL (*L'Équipement Mécanique*, mai 1969). Des graves-cendres volantes sont également utilisées pour une grande partie des couches de chaussées des autoroutes A8 et A9 (*Bull. liaison*, mars-avr. 1976 ; *Chantiers de France*, mai 1976). Un total de 1,2 Mt de sable-laitier sont valorisées dans les autoroutes (A10 et A63) du Sud-Ouest (*LS*, n°50, 1982).

212. *RGRA* (avr. 1976).



FIGURE 5.6 – Part de la technique de la GL dans les renforcements coordonnés²¹³.

Cendres volantes : imiter les laitiers

Le problème des cendres volantes, qui a servi à introduire le chapitre, est singulier en ce sens qu'il est possible de l'accompagner de sa "naissance", au début des années 1950, jusqu'à sa récente (quasi) disparition en France métropolitaine. Grâce aux soutiens d'importantes institutions, leur propriété hydraulique est rapidement connue²¹⁴. Il s'agit, dès lors, d'imiter les valorisations du laitier granulé, auquel les cendres seront souvent mélangées, dans les techniques de construction. Suite à des essais en laboratoire et chantiers expérimentaux de grave-cendres volantes dans les années 1960²¹⁵, Prandi entrevoit un développement important des graves-cendres – avec les mêmes avantages que les GL lors de la mise en œuvre²¹⁶. Le succès est immédiat : la quantité de cendres utilisées en cimenterie augmente de 100 kt à 1,5 Mt entre 1960 et 1975 (figure 5.7) ; en 1970, 90 % de la production est valorisée et des essais sont réalisés pour leur emploi dans le béton²¹⁷. Les ingénieurs optimiseront l'utilisation des cendres de Gardanne (sulfo-calciques), dont les propriétés sont celles d'un ciment, qui seront couramment employées en couches de fondation et de base de chaussées neuves (autoroutes), et en renforcement à partir de 1976²¹⁸.

213. Évolution des techniques pour la couche de base des renforcements coordonnés (*PCM*, fév. 1984, p. 37).

214. La "pouzzolanité" (donc l'hydraulicité) des cendres est démontrée dans la *Revue des Matériaux* (avr. 1955, nov. 1957). En 1964, une norme (NF) consacre l'existence de ciments aux cendres.

215. Voir : *PCM* (mars 1966, p. 80) ; *Bull. liaison* (nov.-déc. 1967, mai-juin 1969, juil.-août 1972) ; *Annales des Mines* (mars 1971, p. 6).

216. Bonne stabilité mécanique, résistance élevée, prise lente et mise en œuvre sans interruption de la circulation (*RGRA*, jan. 1970, p. 90).

217. Voir : *Chantiers de France* (juin 1971) ; *PCM* (nov. 1977).

218. Voir : *Bull. liaison* (juil.-août 1972, mars-avr. 1976, fév. 1978, juil.-août 1983) ; *Chantiers de France* (mai 1976, juil.-août 1977).

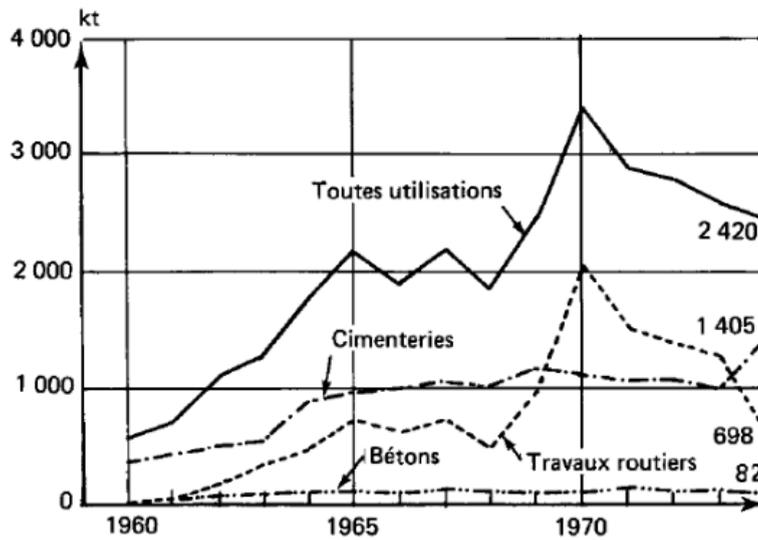


Fig. 4 - Utilisation de cendres.

FIGURE 5.7 – Utilisation des cendres volantes de 1960 à 1975 ²¹⁹.

5.3.2 Granulats artificiels

Le laitier cristallisé, les mâchefers d'incinération, les schistes, les bétons de démolition : tous ces déchets servent la production d'espace comme granulat alternatif – l'ADEME les désigne aujourd'hui comme "granulat recyclé" ce qui est hautement contestable ²²⁰. Les valorisations sont anciennes. A la fin des années 1950, un manuel sur les agrégats mentionne le LHF dès la première page du premier chapitre, à côté des roches dures ²²¹. Au milieu des années 1960, les études de prospectives sur le granulat ²²² évoquent les "sous-produits industriels". Avec les tensions croissantes provoquées par l'extractivisme (chap. 1), l'engouement des pouvoirs publics pour ces potentiels "granulats artificiels" les conduit à encourager des valorisations tous azimuts – et les plus optimales possibles ²²³.

219. *Bull. liaison* (mai-juin 1976, p. 78).

220. ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*, p. 65.

221. Arrambide et Duriez, *op. cit.*, p. 25.

222. Les études du BIPE examinées dans le chapitre 1. Voir : BIPE, *Analyse des consommations de la branche bâtiment et génie civil - La consommation de granulats - Le marché national pour la période 1963-1966 - Essai d'approche du marché régional pour les années 1963 à 1965*, *op. cit.*; *idem*, *Les flux de transport de granulats en 1965*, *op. cit.*; *idem*, *La structure des transports de granulats en 1985*, *op. cit.*

223. Pour donner un exemple : les schistes rouges, insensibles à l'eau, seront utilisés dans les couches de forme ou d'assises, et serviront également les terrassements devant s'exécuter durant des intempéries ou résister à l'imbibition (zones inondables par exemple). Les schistes ne sont toutefois utilisables comme matériau de fondation qu'à la condition de les stabiliser avec un liant hydraulique : OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, *op. cit.*, p. 35.

L'investissement pour développer une production industrielle de granulats de démolition au début des années 1980²²⁴ et l'appui des pouvoirs normatifs²²⁵ ne donnent pas de résultats satisfaisants. Les taux restent mitigés au début des années 1990 : seulement 15 % du total des gravats de démolition est récupéré et le granulats recyclés reste plus coûteux que le granulats naturel²²⁶. Les valorisations consistent très majoritairement en un sous-cyclage et ne remplacent jamais le granulats "naturel" dans la production de béton²²⁷. Si la production de ce granulats recyclés est passée de 12 à 19 Mt entre 2005 et 2014, rappelons que la consommation de granulats varie depuis 40 ans entre 350 et 450 Mt (chap. 1). La métaphore de la ville comme carrière, comme la possibilité de l'*urban mining*, est contestable²²⁸.

Du fait de leurs propriétés physico-chimiques, la valorisation en granulats est plus compliquée pour les mâchefers et sédiments. Malgré l'investissement d'EDF et des Ponts et Chaussées depuis les années 1970²²⁹, les mâchefers calibrés remplacent au mieux le gros sable et caillou dans les remblais et les voies à faible trafic²³⁰. Malgré un grand nombre d'expériences sur des petits chantiers, malgré une circulaire ministérielle (1994) qui encadre leur utilisation en technique routière, l'emploi de ces matériaux reste marginal jusqu'aux années 1990²³¹. De leur côté, les sédiments conservés à terre sont en général de si mauvaise qualité qu'ils exigent un tri et un traitement lourd et coûteux et ne peuvent être valorisés sans traitement chimique²³². Un guide du BRGM donne une synthèse des possibilités (à ce stade majoritairement hypothétiques) de valorisation dans les terrassements routiers et les sous-couches de

224. L'article intitulé "Une grande première technique : l'utilisation des bétons armés de démolition dans les couches de fondation des chaussées", consacré aux renforcements de la RN6 au nord de Melun, est simultanément publié dans *Chantiers de France* (sept. 1982) et *Bull. liaison* (sept. 1982). *L'Équipement Mécanique* (déc. 1982) publie un reportage similaire : "Du béton armé recyclé pour la construction routière". D'autres petites opérations de recyclage de béton de démolition sont réalisées sur des autoroutes (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1984; *RGRA*, jan. 1985; *Le Moniteur*, déc. 1985; *Mines et Carrières*, mai 1986). En octobre 1986, les *Annales de la Voirie* publient un numéro spécial, "Déchets de démolition et granulats de recyclage et béton et routes", qui traite de tous les aspects de l'utilisation des déchets de démolition en technique routière". Voir : *Chantiers de France* (jan.-fév. 1986, juin 1988, p. 69-91); *Mines et Carrières* (juil. 1986); *Annales de la Voirie* (oct. 1986); P. Cormon, *La démolition du béton*, Paris, Eyrolles, 1979.

225. SETRA, *Réemploi de béton de démolition dans le domaine routier*, Note d'information, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, mai 1984.

226. Labouze, *op. cit.*, p. 82, 109.

227. C'est une très grande différence avec la terre crue. Celle-ci est entièrement réversible au sens où tous les éléments construits en terre peuvent, une fois détruits, être recyclés indéfiniment ou rendus au sol.

228. Sur l'*urban mining*, voir : P. H. Brunner, « Urban Mining A Contribution to Reindustrializing the City », *Journal of Industrial Ecology* (2011); T. E. Graedel, « The prospects for urban mining », *The Bridge* 41 (2011), p. 43-50; M. Ghyoot et al., éd., *Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction*, Architecture, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018, p. 91-95.

229. Bauchard, *op. cit.*

230. Des chantiers sont réalisés en région parisienne depuis les années 1960, et l'utilisation est relativement courante en 1973 pour les remblais et couches de forme, ou les fondations des chaussées à faible trafic. Entre 1965 et 1973, 106 chantiers de voirie ont utilisé du laitier et du mâchefer – un nombre "certainement très inférieur au nombre réel" selon une étude commandée par EDF-TIRU : *ibid.*, p. 15-20.

231. *Bull. liaison* (juil.-août 1977, juil.-août 2000, avr.-mai-juin 2009) et Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*

232. D. Colin, « Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière », Thèse de doctorat en génie civil, Université de Caen - Basse-Normandie, 2003; Agostini, *op. cit.*; D. Levacher et al., « Recyclage et valorisation de sédiments fins de dragage à usage de matériaux routiers », dans : *IXèmes Journées, Brest, Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Editions Paralia, 2006, p. 603-612.

route. Sa valorisation dans les bétons est sujette à caution, puisque la salinité élevée diminue la résistance mécanique des ciments, et les applications envisagées excluent les structures²³³.

Le seul récent succès technique, au sens où il n'y a pas de sous-cyclage important, concerne le recyclage des couches de roulement²³⁴, au cœur d'innombrables publications au début des années 1980²³⁵. Il ne s'agit pas de granulats artificiels à proprement parler puisque le but est de créer des agrégats d'enrobés, c'est-à-dire un mélange de déchets de l'ancienne chaussée avec du (nouveau) bitume. La recherche est impulsée par la DR en partenariat avec des entreprises privées²³⁶, et influencée par des expériences étatsuniennes²³⁷. Si l'utilisation d'agrégats enrobés est généralement limitée à des pourcentages ne dépassant pas 25-30 % par tonne produite, en raison de limitations techniques et pratiques des usines de production, les recherches des années portent leur fruit à la fin des années 1990. Les intenses campagnes de *greenwashing* ne parviennent pourtant pas à dissimuler ce fait : ces "recyclages" n'ont pas entraîné une baisse drastique de la production d'enrobés bitumineux ; celle destinée à la seule couche de surface, dépasse les 36 Mt en 2018²³⁸.

Encadré : du schiste dans la production de bâtiments

Parmi les solutions au problème du schiste, la fabrication de briques avec des résidus de schistes bitumineux et de schistes expansés pour le béton illustre l'investissement des producteurs de déchets dans la construction de solutions. Dès après la guerre 1914-1918, deux charbonnages du Nord (Marles et Lens), embarrassés par leurs terrils, fabriquent des briques de schistes²³⁹ qui se révèlent excellentes à l'usage mais dont le prix de revient est trop

233. P. Bataillard, B. Chevrier et V. Hoang, *Valorisation à terre des sédiments de dragage : retour d'expérience en France et à l'international*, Rapport final N°RP-67329-FR, BRGM, août 2017.

234. Quatre groupes de techniques vont recevoir l'essentiel des investissements monétaires et cognitifs (*Bull. liaison*, nov.-déc 1992, nov.-déc. 1997, p. 7) : retraitement en place à froid des anciennes chaussées, après les avoir fragmentées ; retraitement en centrale à froid des matériaux issus de la démolition des chaussées ; retraitement en place à chaud des enrobés par thermorecyclage ou thermoreprofilage ; recyclage en centrale d'enrobage à chaud, ou recyclage d'agrégats d'enrobés. L'idée du thermorecyclage remonte aux années 1950 (*Retread Process*). Voir : SETRA, *Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées*, Guide technique, 2004 ; CIMbéton, *Le retraitement en place à froid*, op. cit.

235. Un numéro spécial du *Bull. liaison* (jan.-fév. 1980) est dédié à la "régénération et recyclage des enrobés bitumineux". La *RGRA* (mars 1982, fév. 1983, avr. 1983, juin 1983) consacre plusieurs articles, et surtout, trois numéros spéciaux aux différents recyclages. Les objets, les chantiers, voire les auteurs, des articles de la revue *Travaux* (déc. 1982, déc. 1987) sont souvent les mêmes.

236. L'entreprise *Jean Lefebvre* a introduit en 1975, en France, les procédés de thermorégénération des chaussées d'enrobés et a été la seule à exploiter ce procédé jusqu'en 1981 (de manière confidentielle). Dans les années 1980, l'entreprise rénove de cette façon environ 6 Mm² de chaussées, dont les autoroutes A1 et A6 et le périphérique de Paris (*PCM*, déc. 1987, p. 35).

237. Le recyclage à chaud en centrale se développe aux États-Unis à partir des années 1975, grâce à l'apparition de matériels spécialement adaptés, tant pour la récupération des enrobés en place que pour leur transformation en enrobés régénérés. Les premiers essais en France, en 1980, ont conduit la DR à lancer une opération de promotion de la technique en soutenant cinq chantiers (RN et autoroutes) à caractère pilote en 1981 (*RGRA*, oct. 1980, fév. 1981, avr. 1983, juin 1983). Dès 1982, la technique est jugée valablement maîtrisée et assez économe en matière et en énergie (*RGRA*, juin 1983), et une application de 10 km réalisée sur l'autoroute A62 à la sortie de Bordeaux (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1992).

238. Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, op. cit., p. 2.

239. Une production de briques de pavage en laitier est expérimentée au même moment (*Revue des Matériaux*, mars 1925, p. 79, sept. 1925, p. 234).

coûteux par rapport à celui de la brique ordinaire. L'expérience est, en revanche, un succès à Ahun dans la Creuse : les charbonnages s'y débarrassent en peu de temps de leurs terrils. L'intérêt pour ces productions est renouvelé après 1945 – pour atténuer la hausse des mises en stock et économiser du combustible²⁴⁰.

Le procédé d'expansion des schistes houillers des laboratoires du HBNPC est exposé dans les *Annales des Mines* en mars 1971, où il est rappelé que les granulats légers de schistes expansés sont promis à un bel avenir dans cette région pauvre en ressources. L'espoir vient de “la raréfaction progressive des matériaux naturels jointe à la tendance à l'allégement des ouvrages” qui “conduira probablement à l'emploi de granulats légers (argiles ou schistes expansés) dans les bétons d'ouvrages d'art, tout au moins dans les zones où ils seront économiquement rentables par rapport aux ressources locales — et pour les structures adaptées à ce type de matériau²⁴¹. La production de schistes expansés restera assez faible en France, autour de 150 kt en 1973 contre 10 Mt en URSS ou aux États-Unis²⁴².

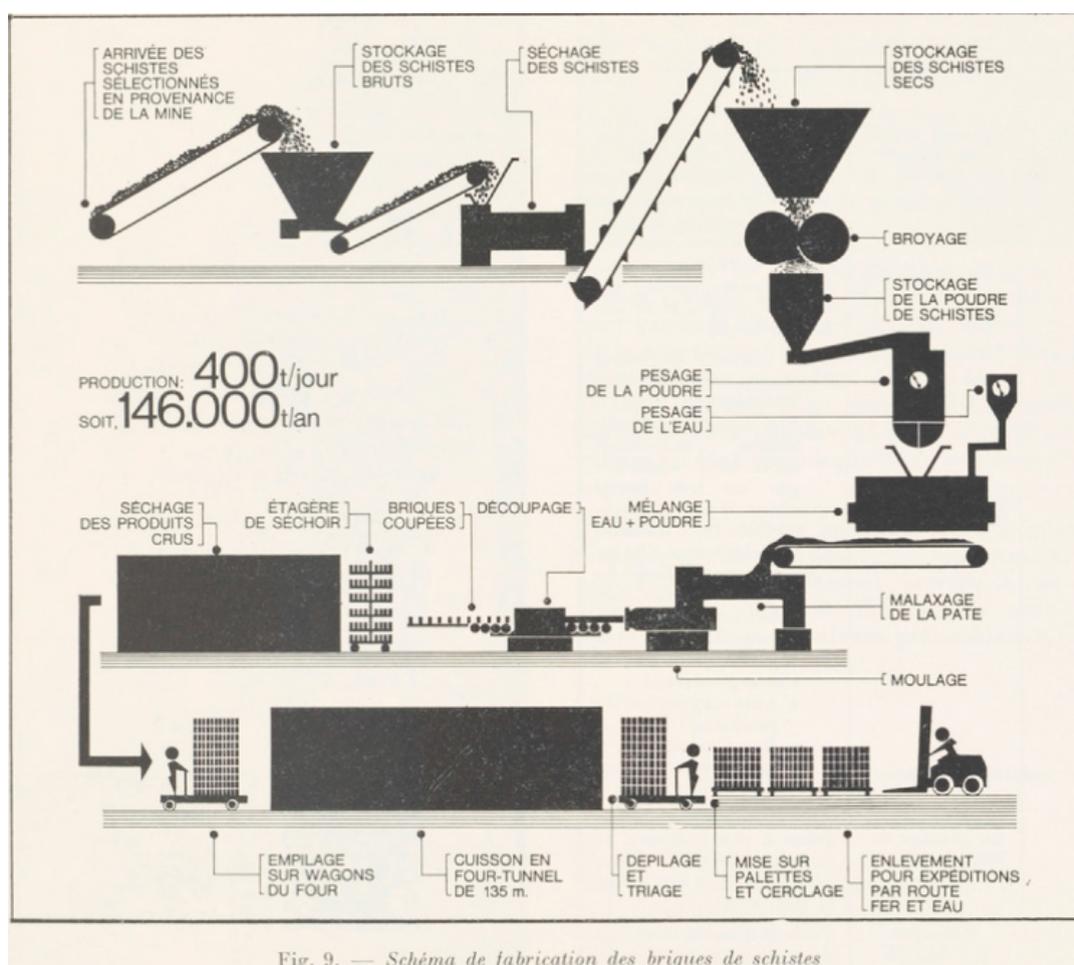


FIGURE 5.8 – Procédé de fabrication des briques de schistes²⁴³.

La création de société *Surschiste* par CDF en 1960 montre, encore, l'intérêt du secteur à valoriser ce déchet. Cette entreprise, dont on peut voir quelques images dans un reportage

240. *Revue des Matériaux* (fév. 1950, nov. 1950, p. 349-350).

241. *PCM* (nov. 1972, p. 48).

242. *Annales des Mines* (déc. 1976, p. 173).

243. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 15).

télévisé²⁴⁴, omniprésente dans les publicités²⁴⁵ et les articles des revues, connaît un développement spectaculaire dans la décennie 1960-1970 (sa production augmente de 7 kt à 160 kt). En 1970, 80 millions de briques mises sur palettes et emballées sous plastiques, ont quitté cette briqueterie. En 1983, elle détient 20 % du marché national de la brique de parement²⁴⁶. Cette entreprise affirme avoir valorisé 65 Mt de cendres depuis sa création²⁴⁷.

5.3.3 Remplissages ordinaires

Le sous-cyclage vaut aussi pour les espaces produits. Si le laitier granulé et les cendres volantes servent, en substitut ou complément du ciment, dans des ouvrages importants – barrages, autoroutes, routes nationales, pistes d’envol, etc. –, si les déchets des couches de chaussées et les enrobés sont relativement bien recyclés²⁴⁸, les autres déchets connaissent un sort bien moins prestigieux et servent, au mieux, les couches les plus profondes des routes et la production de plateformes ferroviaire ou autoroutière²⁴⁹. Les sédiments, mâchefers d’incinération et phosphogypses possèdent des caractéristiques géotechniques si mauvaises, par rapport aux normes usuelles, qu’ils ne peuvent être valorisés dans un ouvrage d’une quelconque importance, et à condition d’être traité par un liant hydraulique²⁵⁰.

244. INA (6 novembre 1960) : <https://fresques.ina.fr/memoires-de-mines/fiche-media/Mineur00351/fabrication-de-brique-a-partir-des-schistes-houillers.html>

245. Notamment dans la revue *PCM* (déc. 1978, déc. 1979, déc. 1980, fév. 1984, déc. 1985).

246. Pour ces chiffres, voir : *Annales des Mines* (mars 1971, p. 17); *L'Équipement Mécanique* (nov.-déc. 1975); Carly, *op. cit.*, p. 11.

247. <https://surschiste.com/historique/>

248. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1992, p. 79).

249. Sur la dernière section de l’autoroute A25 Lille-Dunkerque, remblais et couches de fondations sont en cendres volantes (*PCM*, mars 1966, p. 80); trois millions de mètres cubes de cendres sont encore réutilisés en 1969 et 1970 pour construire les remblais des autoroutes dans le Nord (*RGRA*, jan. 1970; *Bull. liaison*, août-sept. 1971, p. 61); la rocade et le périphérique de Lille reçoivent des mâchefers d’incinération : PREDIS-NPdC, *op. cit.*, p. 19; lors de la construction du TGV Nord, 600 000 m³ de sédiment de dragage du port de Dunkerque et 2,1 Mm³ de schistes sont valorisés en remblais (*Travaux*, juin 1992, p. 16); des déchets de démolition servent la plateforme ferroviaire pour la branche Ouest du TGV (en 1993-94) ou l’autoroute A5 en 1994 : DRE-IDF, *Catalogue des structures de chaussées*, Guide technique pour l’utilisation des matériaux régionaux d’Île-de-France, Direction Régionale de l’Équipement d’Île-de-France, décembre 2003, p. 24-28.

250. La technique de stabilisation au liant hydraulique, présentée au chapitre 3, est abondamment étudiée pour de nombreux déchets : certains schistes (*Travaux*, LR, 1951, p. 127; *RGRA*, juin 1954); les MIOM : Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*; RECORD, *Qualité et devenir des mâchefers d’incinération*, *op. cit.*; INEC, *op. cit.*; les sédiments : Agostini, *op. cit.*; H. Azrar, « Contribution à la valorisation des sédiments de dragage portuaire : technique routière, béton et granulats artificiels », Thèse de doctorat en génie civil, École des Mines Douai et Université de Lille I, 2014; F. Ben Abdelghani, W. Maherezi et M. Boutouil, « Caractérisation géotechnique des sédiments de dragage marins en vue de leur valorisation en techniques routières. », *Déchets, sciences et techniques* 66 (2014), p. 4-13; Bataillard, Chevrier et Hoang, *op. cit.*; phosphogypses, y compris pour une potentielle production de “phosphociment” : OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, *op. cit.*; divers déchets, sols ou vases non ou faiblement pollués : M. Boutouil, « Traitement des vases de dragage par solidification/stabilisation à base de ciment et additifs », thèse de doct., Université du Havre, 1998; RECORD, *Stabilisation à base de liants hydrauliques de matériaux ou déchets contaminés par des polluants organiques*, n°99-0325/1A, décembre 2000; Colin, *op. cit.*; G. Blanck, « Utilisation de produits non traditionnels pour le traitement des matériaux de terrassement : impact sur les propriétés géotechniques et bilan environnemental », Thèse de doctorat en mécanique et génie civil, Université de Lorraine, 2013; K. Bellagh, « Valorisation des sols urbains faiblement pollués dans les travaux de terrassement : le devenir des polluants dans les sols traités compactés », Thèse de doctorat en géotechnique

Nonobstant un certain nombre de valorisations astucieuses, une importante part des déchets a servi, en longue période, à du remplissage de carrières et des 100 000 km de galeries creusées dans les mines du NPdC²⁵¹. Cette pratique ancienne²⁵², d'autant plus appréciée qu'elle contribue à l'obligation de réaménagement des carrières (chap. 1), est comptabilisée comme une valorisation depuis 2008 dans toute l'Union Européenne²⁵³. Aussi les départements cartographient et recensent-ils les carrières disponibles comme exutoires des déchets inertes²⁵⁴. En 2010, la plus grande valorisation des déchets du BTP en IDF concerne le remblaiement de carrières²⁵⁵. En 2014, le remblaiement de carrières est la filière de valorisation de 14 % de déchets du BTP²⁵⁶. En ce sens, les valorisations qui devaient libérer les espaces-déchets sont simplement des réorganisations spatiales, avec des déchets orientés vers des exutoires qui posent moins de difficultés sociales que les premiers.

Le reste des déchets sert principalement à remplir des volumes d'ouvrages ordinaires : remblais routiers divers, merlons (phoniques ou protecteurs), aménagements paysagers des infrastructures ou des carrières en fin d'activité, phosphogypse et mâchefer dans les terre-pleins centraux des autoroutes ou accotements de RN²⁵⁷, parkings²⁵⁸, rechargement de plages²⁵⁹, piste de circulation de chantier²⁶⁰, récifs artificiels²⁶¹, etc. En dépit d'annonces répétées et triomphales, les granulats artificiels ne sont qu'exceptionnellement utilisés dans les structures en béton armé²⁶². En 1998, le vice-président de l'UNICEM publie les statistiques sur les "gra-

et environnement, Université Paris-Est, 2017; RECORD, *Impacts écologiques de sédiments pollués extraits et déposés en milieux terrestres. Etat des connaissances et évaluation des risques pour les écosystèmes*, n°14-1023/1B, mai 2017.

251. Le comblement des galeries de mine qui ne sont plus en activité est une pratique peu étudiée. Au tournant des années 1970, un article estime que 1,5 Mt de schistes sont utilisées pour le remblayage au fond des exploitations minières (*Annales des Mines*, mars 1971, p. 10).

252. Le remblaiement de carrières attire ponctuellement des cendres volantes (*Travaux*, sept. 1946, p. 335-336), du mâchefer, des déchets de démolition dans la Vallée de la Seine (*Annales de la Voirie*, oct. 1986, p. 315), des sédiments de dragage (par exemple chez Voies Navigables de France).

253. Voir la décision n°2011/753/UE du 18/11/11 établissant des règles et méthodes de calcul permettant de vérifier le respect des objectifs fixés dans la directive 2008/98/CE. Le remblaiement de carrières n'est une valorisation que si les déchets sont inertes.

254. Dans l'Oise, une première enquête a permis de recenser 19 carrières de granulat acceptant des déchets inertes à des fins de remblayage pour une capacité d'accueil proche de 5,5 Mm³ (DDE de l'Oise, mars 2008).

255. La répartition des 23,5 Mt de déchets du BTP est la suivante : 8 Mt ont été stockées ; 1,5 Mt envoyées dans les régions limitrophes ; 14,5 Mt valorisés avec 8,5 Mt en remblaiement de carrières et 6 Mt recyclées.

256. SDES, *Le recyclage des déchets produits par l'activité de BTP en 2014*, Service des données et études statistiques, octobre 2018, p. 20.

257. Une expérience d'accotement en phosphogypse sur la RN28 en 1977 (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1982).

258. Il y a par exemple du mâchefer dans celui du campus d'Orsay : LREP, *op. cit.* ; des déchets de démolition dans celui d'Eurodisneyland : DRE-IDF, *Catalogue des structures de chaussées*, *op. cit.*, p. 24-28.

259. Ceci attire 1 % des sédiments dragués – en 2013, on compte 149 kt de matières sèches, contre 456 kt en 2012 et 171 kt en 2011. La façade méditerranéenne est en général celle sur laquelle le rechargement de plages est la destination préférentielle des matériaux de dragage : Azrar, *op. cit.* ; GEODE et MTES, *op. cit.*, p. 7.

260. 500 kt de LHF pour les pistes de circulation du chantier de la centrale de Penly (*Mines et Carrières*, oct. 1986).

261. Les récifs artificiels sont parfois constitués des déchets de construction comme les blocs de béton, ou de bateaux ou wagons de trains (après avoir été décontaminés et nettoyés). En France, environ 90 000 m³ de récifs ont été ainsi immergés, dont un tiers dans la baie du Prado, à Marseille, entre 2007 et 2008 – le Japon en a immergé plus de 2 Mm³ en 2011 : Cerceau et al., *op. cit.*

262. La plupart du temps, les quelques tentatives se limitent à du béton pour des applications hors structures. Comme les granulats recyclés diminuent en effet la résistance et la pérennité du béton, celui destiné aux

mulats recyclés” en IDF : sur les 2,6 Mt (dont 700 kt de mâchefer d’incinération), à peine 600 kt sont utilisées pour des “graves routières”, le reste étant classé dans la catégorie “autres emplois²⁶³”. Si ces valorisations médiocres sont devenues majoritaires, au point qu’on peut se demander si elles ne servent pas parfois à produire d’autres espace-déchets, c’est d’abord parce que les “bons déchets” se sont raréfiés.

Un chantier illustre l’importance de questionner la finalité des valorisations de déchets : les travaux de terrassement réalisés pour une plate-forme multimodale de 300 hectares à Dourges dans le NPdC en 2003. Le maître d’ouvrage, le maître d’œuvre et l’entreprise collaborent pour optimiser, qualitativement et quantitativement, la valorisation des schistes du terril voisin : environ 620 000 m³ sont utilisés, avec au besoin traitement aux liants hydrauliques, dans les remblais des zones humides, les arases de terrassement ou les couches de forme routières et ferroviaires²⁶⁴. Les défenseurs du projet affichent fièrement ce résultat et expliquent que le réemploi de schistes du terril aurait généré une économie de 5 Mt de matériaux de carrière. Pourtant il s’agit là d’un aménagement du territoire coûteux (130 M€ d’investissement public) en vue de satisfaire les exigences de fluidification des transports de marchandises (dans une région où transitent 230 Mt de marchandises en 2003).

5.4 Vers un problème de stocks

L’enquête ne peut s’arrêter là et se contenter d’une liste de problèmes historiquement situés, aussi complète soit-elle dans ses dimensions techniques, spatiales et cognitives. Si nous avons mis en évidence des points communs quant à leur origine, leur traitement et leur valorisation, nous sommes restés muets sur les mécanismes qui les unissent. Pour conserver l’unité du *Problème* dans une analyse dynamique et ne pas se contenter d’une addition d’études de cas et d’une typologie, inter-temporelle mais statique, sur les similitudes et différences²⁶⁵, la compréhension de la question de la valorisation de ces importants volumes de déchets gagne à examiner leur origine, au-delà des techniques de production. Sans minimiser les efforts des ingénieurs, ni les effets de l’inflation législative²⁶⁶, l’analyse doit aussi penser les liens entre ces matières, et rendre compte de la diversité des évolutions des problèmes – pourquoi certains persistent, avec plus ou moins d’intensité, et d’autres disparaissent. Cette section insère la variété des problèmes de déchets, ou les incarnations historiques du *Problème*, dans la dynamique (matérielle) des régimes d’accumulation et de leur pratique spatiale. Nous montrons

immeubles reçoit toujours des granulats de carrière : N. Arabi et L. Berredjem, « Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons », *Déchets, sciences et techniques* 60 (2011), p. 25-30.

263. *Annales des Mines* (mai 2000, p. 7).

264. P. Rossi, L. Gavois et G. Raoul, *Utilisation des sous-produits industriels – Les cendres volantes. Origine, production et caractéristiques*, C5373, Techniques de l’ingénieur, août 2009, p. 15-16.

265. C’est précisément ce qui distingue l’institutionnalisme historique de l’institutionnalisme sociologique : B. Billaudot, « Institutionnalisme(s), rationalisme et structuralisme en science sociale », *Économie et Institutions* 4 (2004), p. 5-50 ; *idem*, « Une vision institutionnaliste, historique et pragmatique de l’objet de la science économique », *op. cit.*

266. Les lois issues du Grenelle de l’Environnement (2007 et 2009) et la Directive européenne 2008/98/CE modifient effectivement les pratiques dans certains secteurs. Chaque déchet est encadré dans un corpus de lois qui font l’objet de discussions et de luttes. Pour donner un exemple spécifique : la première circulaire, de 1994, qui cadre la valorisation en technique routière du mâchefer d’incinération est remplacée, au grand dam de certaines associations, par un arrêté ministériel en 2011.

d’abord la grande cohérence du Fordisme : structures extractives, structures de production industrielle et pratique spatiale se font écho grâce à l’alignement des intérêts opéré par les ingénieurs (5.4.1). Le changement de régime transforme la plupart des problèmes : moins de laitiers, davantage de sédiments, délocalisation du phosphogypse, politique de démolition du bâti (5.4.2). La rupture la plus manifeste tient au changement de statut de la production d’espace : cette apparente solution à un problème présent (de valorisation des déchets) devient un verrou toujours plus important du problème futur. D’un “problème des déchets industriels” (comme le désigne Jarrige), la valorisation se transforme en “problème des déchets de l’espace produit” (5.4.3). Ces frictions entre la Théorie de la Régulation et les problèmes historiques ici envisagés nous conduisent, par un geste abductif de retour à la théorie, à considérer l’inertie de la pratique spatiale des régimes (5.4.4).

5.4.1 Le Fordisme et le problème des flux de déchets industriels

La forte hausse de la production de déchets industriels jusqu’au milieu des années 1970 explique l’apparition matérielle des problèmes de valorisation des laitiers, schistes et cendres volantes. Le Fordisme est à la fois soutenu par des grandes industries, souvent nationalisées (EDF, CDF), et par la production de grandes infrastructures (barrages, ports, autoroutes). Schématiquement, comme les deux productions augmentent, les valorisations des déchets de ces secteurs dans les chantiers sont quantitativement immenses. Elles bénéficient également de la coordination, promue par les services de l’État, entre ingénieurs des administrations des routes et ceux d’EDF et CDF²⁶⁷. Du fait de sa structure matérielle et extractive, le régime produit, de façon endogène, le *Problème* et les solutions.

A la Libération, et pendant toute la IV^e République, le secteur énergétique se développe *via* la construction de barrages et centrales hydroélectriques et, bien sûr, les centrales à charbon²⁶⁸. EDF, SNCF, GDF, entreprises sidérurgiques²⁶⁹ et cimenteries se disputent le charbon, qui est une matière essentielle au régime²⁷⁰. Ce dernier reste majoritaire dans la consommation d’énergie primaire jusqu’en 1963, quand il est dépassé par le pétrole ; sa part décroît ensuite plus sensiblement mais reste de 33 % en 1970. Comme expliqué, l’extraction de charbon est synonyme de production de schistes – dans les années 1970, la production dépasse encore les 20 Mt²⁷¹. Déjà massivement utilisé dans le NPdC dès les années 1950, les ventes de schistes “hors du bassin” s’envolent à partir du milieu des années 1960 – le total

267. Ceci aurait été impossible dans la situation d’avant la nationalisation, quand la production d’électricité dépendait de 86 centrales thermiques et 300 usines hydroélectriques, soit respectivement 54 et 100 firmes privées, tandis que les réseaux de transports relevaient de 86 compagnies et que la distribution était réalisée par 1 150 entreprises : Barjot, « Reconstruire la France après la Seconde Guerre mondiale », *op. cit.*

268. Sur le Plan Monnet, la commission de modernisation de l’électricité et le secteur de l’énergie après-guerre, voir : Bécot, *op. cit.* ; Mamehara, *op. cit.*

269. Outre le charbon, la sidérurgie engloutit énormément de matières. En 1974, pour une production de 22,5 Mt de fonte liquide, 27 Mt d’acier liquide et 21 Mt de produits finis, l’industrie consomme 53,4 Mt de minerai de fer, 1,2 Mt de minerai de manganèse, 13 Mt de coke, 9,4 Mt de ferrailles, 2,2 Mt de castine et 2,5 Mt de chaux (*Revue de Métallurgie*, fév. 1979, p. 99-100).

270. En 1959, la consommation des secteurs est la suivante : 3,6 Mt pour la SNCF ; 5,6 Mt pour GDF ; 12,8 Mt pour l’industrie ; 13,9 Mt pour EDF ; 15,7 Mt pour la sidérurgie. Au début des années 1960, environ deux tiers de la production électrique thermique d’EDF ont été assurés par la combustion de charbon : Mamehara, *op. cit.*, p. 221.

271. OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, *op. cit.*, p. 32.

passé de 1,7 Mt à 4,2 Mt en trois ans²⁷². De même, tant que la production des centrales thermiques augmente, d'immenses quantités de cendres volantes s'accumulent – ceci explique la mobilisation, dont Jarrige est un porte-parole dans les années 1950. Comme celle de schistes, la production de cendres baisse (à partir de 1972), du fait de la politique énergétique qui vise à un arrêt progressif de la production française de houille et à l'utilisation des combustibles liquides plus économiques²⁷³.

L'industrie sidérurgique française épouse remarquablement la périodisation régulationniste²⁷⁴. Après une forte croissance jusqu'en 1974, on observe une externalisation continue des activités. L'importance de ce secteur tient pour partie à celle du secteur extractif : en 1960, le pays exporte 26,8 Mt de minerai de fer (à peine 1,5 Mt sont importées), alors que la sidérurgie en utilise 40 Mt sur une production de 66,9 Mt²⁷⁵. Après une baisse de 1961 à 1967, la production française se stabilise de 1968 à 1974 autour de 55 Mt/an (dont 52 Mt/an en Lorraine). La production de fonte augmente de 14 Mt à 22,5 Mt entre 1962 et 1974²⁷⁶. Au cœur du Fordisme, malgré des inquiétudes quant à la concurrence internationale et la qualité du minerai, un certain optimisme demeure : la métallurgie emploie 165 800 personnes en 1960 et 157 600 en 1974, les réserves sont estimées à 6 Gt (auxquelles on peut ajouter 1 Gt de minerai pauvre qui doit être enrichi) et la prévision est que l'exploitation du gisement lorrain dure « pour encore un siècle environ²⁷⁷ ». La production d'acier électrique, donc de laitiers d'aciérie, concentrée dans les régions productrices d'électricité, passe de 359 kt en 1938 à 1,5 Mt en 1961. L'utilisation d'aciers s'accroît sans cesse pour les secteurs clés du régime – automobile, aéronautique, navale, industrie chimique, les machines-outils, etc. En 1975, pour une production de 17,9 Mt de fonte, la production de laitier a été de 11,7 Mt (dont 8,6 Mt pour la Lorraine) – la production de laitier d'aciérie atteindrait 1,5 Mt²⁷⁸. La production totale brute est de 15,6 Mt : il en a été granulé 5,9 Mt et concassé 6,4 Mt²⁷⁹.

Le Fordisme se caractérise aussi par la transformation de l'agriculture et la domination croissante d'un modèle productiviste dont les propriétés principales sont la mécanisation et l'utilisation massive d'intrants. Les engrais chimiques phosphatés (appelés superphosphates), qui avaient l'avantage de ne pas produire de résidu et dominaient depuis 1850²⁸⁰, sont peu

272. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 11).

273. Voir : *Bull. liaison* (mai-juin 1976, p. 74). Un passage du charbon vers le fuel va s'opérer dans les cimenteries entre 1962 et 1972 – de 25 à 85 % de la consommation d'énergie selon : Mader, *op. cit.*

274. Michel Freyssenet soutient que la sidérurgie française et la grande industrie de transformation ont divorcé dès le début du Fordisme. Selon lui, la première a privilégié les exportations et n'a jamais répondu aux attentes de la seconde. L'État a tenté d'atténuer cet écart dans les années 1960, en soutenant une politique d'accroissement de capacité permettant à la fois de répondre au marché intérieur et de maintenir un fort courant d'exportation. M. Freyssenet, *La sidérurgie française, 1945-1979. L'histoire d'une faillite. Les solutions qui s'affrontent*, Paris, Savelli, 1979.

275. Magalhães et al., *op. cit.*

276. La capacité de production d'acier a doublé en 1961 par rapport à 1929. Les hauts fourneaux sont moins nombreux (154 en 1929, 112 en 1961) mais bien plus grands – le diamètre au creuset, où se rassemblent fonte et laitier, augmente considérablement. Voir : *Bull. liaison* (août-sept. 1968) ; *Revue de Métallurgie* (mai 1978) ; J. Beaujeu-Garnier, « La sidérurgie française », *L'information géographique* 26.3 (1962), p. 95.

277. *Ibid.*, p. 100.

278. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 311).

279. *Annales des Mines* (déc. 1976, p. 25).

280. Sur le développement des superphosphates dans les pays européens au XIXe siècle, voir : Boulaïne, « Histoire abrégée de la Science des Sols », *op. cit.* ; J. Boulaïne, « Histoire de la fertilisation phosphatée 1762-1914 », *Etude et Gestion des Sols* 13.2 (2006), p. 129-137.

à peu remplacés au début des années 1950, quand la fertilisation phosphorée prend une ampleur inégalée²⁸¹. C'est dans ce cadre qu'apparaît l'acide phosphorique, nécessaire à la fabrication d'engrais plus riches que le superphosphate²⁸², résultat de recherches d'un produit plus concentré, plus maniable, et de la volonté de réduire les coûts de transport. Du fait de la forte hausse de la production d'acide phosphorique (qui atteint un pic de 3,5 Mt en 1975), qui est accompagnée d'une hausse cinq fois supérieure de déchets, et de la baisse du rejet en mer, des terrils commencent à se former : le problème du phosphogypse est né.

Outre une production industrielle de masse, le Fordisme se caractérise par le début d'une consommation de masse rendue possible par des hausses de salaires²⁸³. Celle-ci est synonyme de production de déchets ménagers, des marchandises complexes et jetables, qui augmente de 3,5 Mt/an en 1962 à 14 Mt en 1975, année où les deux tiers des ordures ménagères produites en France s'entassent dans des décharges "sauvages". Ces déchets quoi que quantitativement minoritaires, sont pris pour cible comme symbole de la "société du gaspillage" ou de "l'ère du plastique" et participent à la création d'institutions comme l'ANRED et à une politique publique du déchet²⁸⁴. La hausse de l'incinération, qui se veut une réponse aux oppositions aux décharges, intensifie le problème de la valorisation de mâchefers.

La pratique spatiale fordiste va absorber une énorme partie de ces déchets. Jusqu'en 1956, environ 50 % des laitiers, et 95 % des cendres, sont stockées. L'utilisation de laitier granulé en cimenterie passe de 1,4 Mt en 1948 à 2,5 Mt dix ans plus tard, et 3,7 Mt en 1974²⁸⁵. La valorisation du laitier bénéficie des programmes routiers entamés dans les années 1960 pour atteindre les 87 % en 1969²⁸⁶. Les seuls renforcements coordonnés absorbent au moins 60 Mt de matière de 1969 à 1984 – dont 2,5 Mt de laitier granulé en 1975²⁸⁷. La hausse des valorisations des cendres est fulgurante suite à la mise en évidence de leur propriété hydraulique à la fin des années 1950. Sur une production d'environ 4 Mt de cendres volantes en 1965, 2 Mt sont déjà valorisées²⁸⁸. A l'échelle nationale²⁸⁹, leur valorisation en cimenterie augmente de 100 kt à 1Mt entre 1957 et 1965²⁹⁰. Au milieu des années 1970, les centrales thermiques en produisent 3,5 Mt/an dont environ la moitié sert l'industrie cimentière, l'autre

281. J. L. Noë et al., *Les stocks de phosphore dans les sols agricoles : origine et devenir*, Rapport 2018, 2018.

282. Pour fabriquer l'acide phosphorique, il faut traiter le phosphate de calcium naturel par de l'acide sulfurique en excès. On obtient ainsi de l'acide phosphorique et du gypse (sulfate de calcium) que l'on sépare par passage sur des filtres : le gâteau de filtrage constitue le "phosphogypse" brut qui contient du gypse, du fluorure de calcium et des matières organiques (*PCM*, nov. 1977, p. 65).

283. Ceux-ci étant rattachés, au travers de conventions collectives, aux hausses de la productivité et à l'inflation : Boyer, *op. cit.*

284. Hannah Arendt écrit dès 1958 : "Toute notre économie est devenue une économie de gaspillage dans laquelle il faut que les choses soient dévorées ou jetées presque aussi vite qu'elles apparaissent dans le monde pour que le processus lui-même ne subisse pas un arrêt catastrophique". Citée dans : Jarrige et Le Roux, *op. cit.* ; d'autres témoignages : G. Bertolini, *Homo plasticus : les plastiques, défi écologique*, Les Dossiers de l'écologie, Paris, Sang de la terre, 1991 ; Frioux et Bonneuil, *op. cit.* ; Monsaingeon, *op. cit.*

285. *Revue de Métallurgie* (sept. 1961, p. 736, mai 1978, p. 271).

286. *Bull. liaison* (spécial Q, déc. 1970, p. 55).

287. Voir : *PCM* (nov. 1977, p. 64) ; *RGRA* (jan. 1985).

288. *PCM* (mars 1966, p. 80).

289. La valorisation des cendres des HBNPC, nulle au début des années 1950, atteint 1,5 Mt en 1970, principalement orientée vers les travaux routiers (*Annales des Mines*, mars 1971, p. 6).

290. Voir : *Bull. liaison* (mai-juin 1976, p. 78) ; Commissariat Général du Plan et de la Productivité, *IVe Plan. Rapports généraux de la commission du Bâtiment et des Travaux Publics*, 1962, p. 39.

la construction routière²⁹¹ (figure 5.7). Malgré ces chiffres records, il y a moins de déchets (laitier et cendre) dans une tonne de ciment produite à la fin du Fordisme qu'à ses débuts (le taux en "entrée" baisse).

5.4.2 Variété des disparitions des terrils fordistes

Les crises de la sidérurgie et des charbonnages ne sont pas "naturelles" – puisque les réserves restent importantes²⁹² et la demande forte. Elles sont le fruit de choix politiques qui sont reflétés dans l'internationalisation du régime à partir des années 1960, qui amène une forte concurrence du fait des bas prix du pétrole et des minerais importés. Si leur extraction diminue jusqu'à l'arrêt complet (entre 1993 et 2004), charbon et minerai de fer sont désormais importés puisqu'ils restent nécessaires aux centrales thermiques et haut-fourneaux. La production de déchets associés baisse (pour les laitiers), tend vers zéro (pour les cendres) et disparaît (pour les schistes). Les problèmes des déchets des industries fordistes sont, en conséquence, nettement allégés du côté des flux, alors que les stocks, donc les terrils, restent très importants. Le Néolibéralisme, dont la désindustrialisation est un marqueur fort en France, va être synonyme de délocalisation des déchets, donc hausse de la composante internationale de la pratique spatiale, accroissement de territoires fantômes extraterritoriaux²⁹³, et transformation de "l'État social" en "État néolibéral"²⁹⁴, pour partie en conséquence du fort affaiblissement du mouvement syndical dans les secteurs extractifs et industriels²⁹⁵.

Jusqu'au déstockage – cendres et laitiers

La production de laitiers baisse pour deux raisons : les délocalisations de la production d'acier et une plus grande utilisation de minerai enrichi importé dans les hauts-fourneaux français. La "crise" de la sidérurgie lorraine, due à une hausse des importations et au développement de nouvelles usines proches des ports semble prévisible dès le début des années 1960²⁹⁶. En 1969, dans l'idée de garder une sidérurgie française compétitive, le gouvernement décide d'agrandir l'usine de Dunkerque²⁹⁷ et de construire celle de Fos, avec une particula-

291. *Annales des Mines* (déc. 1976).

292. Au moment de l'arrêt des exploitations, les réserves sont estimées à 425 Mt de houille et 300 Mt de lignite : <https://www.lelementarium.fr/product/charbon>

293. Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

294. Dardot et Laval, *op. cit.*

295. L'empreinte de la CGT sur le secteur de l'énergie et la fondation d'entreprises nationalisées a été étudiée par Renaud Bécot. La baisse du nombre d'ouvriers, également due à des modifications technologiques, est très forte dans la sidérurgie : 139 000 personnes employées en 1980 contre moins de 8 000 en 2013. Dans le bassin Lorrain, l'arrêt total de l'embauche a lieu en 1983 ; les effectifs baissent ensuite régulièrement. Ce mouvement affaiblit encore davantage le prolétariat dans le rapport capital-travail. De nouveaux fours et l'automatisation intégrale de la coulée continue divise par quatre le nombre de sidérurgistes dans certaines usines. Voir : G. Noiriél, « La lutte des ouvriers de Longwy contre la restructuration de la sidérurgie française (1979-1980) », dans : *Avenirs et avant-gardes en France XIXe-XXe siècles. Hommage à Madeleine Rebérioux*, sous la dir. de P. Fridenson, TAP / HIST Contemporaine, La Découverte, 1999, p. 211-221 ; P. Raggi, « Industrialisation, désindustrialisation, ré-industrialisation en Europe : Le cas de la sidérurgie lorraine (1966-2006) », *Rives méditerranéennes* 46 (2013), p. 11-28 ; F. Belin, « L'arrêt de l'exploitation des houillères de Moselle », *Mémoires de l'Académie Nationale de Metz* (2015), p. 201-212 ; Bécot, *op. cit.*

296. Beaujeu-Garnier, *op. cit.*

297. L'industrialisation de Dunkerque est décidée et construite de toutes pièces par l'État, notamment par l'intermédiaire des Ve (1966) et VIe (1971) plans. Le choix des sites industriels qui recevront d'importants

rité : elles sont alimentées exclusivement en minerai étranger, d'où l'implantation en bord de mer, plus riche que la minette lorraine. En conséquence, la quantité de laitier par tonne baisse de 821 kg à 350 kg après l'ouverture du site de Dunkerque²⁹⁸. À partir de 1974, une série d'éléments, à commencer par la concurrence internationale²⁹⁹, provoquent l'effondrement des usines alimentées en minerai français³⁰⁰. Au total, de 1974 à 1977, la production française de minerai de fer diminue de 54,2 Mt à 36,6 Mt ; les livraisons de minerai français aux usines sidérurgiques françaises baissent de 37 Mt à 24,9 Mt. La production nationale d'acier brut baisse tendanciellement de 27 Mt en 1974 à 15,8 Mt en 2011 (dont 9,6 Mt pour la filière fonte et 6,2 Mt pour la filière électrique). Comme les importations de charbon et produits sidérurgiques ne disparaissent pas, les crassiers et terrils ont simplement été délocalisés.

Ce bouleversement général du capitalisme français fait baisser les inquiétudes des industriels – d'autant plus que les filières de valorisation sont déjà bien établies. Il déplace le *Problème* sur le territoire national : des petits crassiers vont surgir et grandir à Fos alors que ceux de Lorraine vont doucement disparaître³⁰¹. Les flux de la sidérurgie lorraine³⁰² sont devenus dérisoires comparés aux années 1960³⁰³. En conséquence de ces mutations et d'une baisse de la production, plus que d'un éveil environnemental ou des nouvelles législations, la mise au crassier qui était encore de 10 % en 1974, ne dépasse pas 0,5 % en 1985³⁰⁴. Afin de valoriser au mieux la production fraîche, les pourcentages de la répartition entre laitiers granulé et cristallisé vont continuellement se transformer en faveur des premiers, plus utiles techniquement et économiquement : le pourcentage passe de 50 % en 1974 à 84 % en 2017.

investissements publics est réalisé par la DATAR. Le complexe industriel se construit autour d'Usinor. La décision d'implantation est prise en 1956 et la production débute en 1962. Voir : Laperche et Uzunidis, *op. cit.* 298. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 270). En 1973, le port de Dunkerque importe 11,7 Mt de minerai de fer – essentiellement du Brésil, de Mauritanie, du Libéria, de Norvège et d'Australie. Il doit à la sidérurgie d'avoir multiplié par huit son trafic total d'avant-guerre, pour aboutir à un total de 32 Mt en 1973 (*PCM*, juin 1974, p. 46).

299. La sidérurgie française bénéficie de l'internationalisation pour racheter des firmes étrangères à partir du milieu des années 1980.

300. La mise à grand gabarit du canal Dunkerque-Valenciennes dans les années 1970 a permis l'alimentation des usines du Nord en minerai étranger : en 1977 le minerai lorrain n'est plus fondu dans ces hauts fourneaux. Même dans les hauts fourneaux lorrains toujours plus du minerai importé est utilisé comme appoint au minerai lorrain. A la fin des années 1970, en poids de fer contenu, le minerai importé représente 54,8 % de l'approvisionnement des usines. Voir : Freyssenet, *op. cit.*

301. Le site de Fos est logiquement absent de toute carte de la production de LHF dans les années 1950 ou 1960 alors qu'il est largement dominant depuis les années 2000 (*Bull. liaison*, sept. 1970, p. 55).

302. Au début des années 1970, la Lorraine produisait plus de 70 % de l'acier national. Vingt ans après, plus de la moitié de la production est fournie par les deux usines littorales de Dunkerque et de Fos. Malgré les quatre exploitations de crassiers de laitiers cristallisés encore en fonctionnement dans l'Est de la France en 2009 – celui de Nilvange, sur le point de disparaître, produit encore 700 kt par an – la région était même importatrice nette de laitier en 2012. Le secteur a encore perdu 10 000 emplois entre 2008 et 2017 soit plus de 20 % de ses effectifs alors que la production d'acier brut est restée stable dans les années 2010 (entre 14 et 16 Mt). La masse des crassiers lorrains est estimée de 50 Mt à 100 Mt : Alexandre et Sebileau, *op. cit.*, p. 58 ; Rossi, Gavois et Raoul, *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, *op. cit.*

303. DREAL-ACAL, *Etude des flux de matières à l'échelle du territoire et des départements lorrains*, Rapport d'analyse 8512102, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement - Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine, mai 2016, p. 48.

304. Les utilisations après 1980 sont similaires à celles des années 1960 : le laitier cristallisé comme granulats, le laitier granulé en cimenterie ou dans les liants hydrauliques routiers.

La part envoyée au crassier et au terril baisse sensiblement jusqu'à être nulle. Depuis les années 1970³⁰⁵, on assiste même à un phénomène de déstockage qui s'accroît depuis³⁰⁶ : la consommation de ces liants hydrauliques est supérieure à leur production, autrement dit de la matière est extraite des crassiers. Les dernières estimations des stocks recensent, en 2017, 40 Mt dont 25 Mt pour les laitiers cristallisés du XIXe et XXe siècles, et 15 Mt pour les laitiers de convertisseur issus de la filière fonte³⁰⁷. Depuis le début des années 2000, la valorisation de l'ensemble des laitiers sidérurgiques est de l'ordre de 4 à 6 Mt/an de laitiers de fraîche production, et supérieure à 2 Mt/an de laitiers issus des anciens crassiers³⁰⁸. Le même phénomène s'observe dès 1970 pour les cendres des HBNPC³⁰⁹, qui restent essentiellement consommées en cimenteries. La totalité de la production est valorisée et le déstockage devient la norme³¹⁰ : entre 360 kt³¹¹ et 1 Mt par an entre la fin des années 1990 et 2010³¹². Si le taux de valorisation reste élevé, les quantités valorisées pour produire de l'espace vont baisser à partir des années 1980³¹³. La résorption totale des dépôts de cendres volantes, annoncée depuis vingt ans, est imminente³¹⁴. En 2018, il reste 4 centrales à charbon en France métropolitaine, qui absorbent environ 14 Mt de charbon importé³¹⁵, et 3 dans les DOM : les cendres ont pratiquement disparu des rapports sur l'économie circulaire³¹⁶.

Les terrils restent, le problème disparaît – une autre valorisation

Après un “renouveau du charbon” jusqu'en 1981³¹⁷, qui impulse de nouvelles réflexions sur les déchets³¹⁸, l'extraction du minerai baisse progressivement jusqu'à la fermeture de la quasi-totalité des sites miniers au début des années 2000. Les ingénieurs sont alors confrontés à un phénomène d'hystérèse : le problème de valorisation du schiste houiller se prolonge malgré

305. Environ 1,9 Mt/an en 1974 (*Revue de la Métallurgie*, fév. 1979, p. 103).

306. Rossi, Gavois et Raoul, *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, *op. cit.*

307. *LS* (déc. 2018, p. 36).

308. Rossi, Gavois et Raoul, *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, *op. cit.*

309. La vente atteint 1,5 Mt pour une production de 1,15 Mt (*Annales des Mines*, mars 1971, p. 7).

310. En 2014, un responsable EDF explique que l'entreprise déstocke les terrils historiques puisque les ventes représentent 120 à 140 % de la production. Voir : doc.lerm.fr/entretien-jean-paul-jacquot-responsable-lenvironnement-au-sein-division-production-ingenierie-thermique-dedf/

311. Le flux moyen annuel des cendres s'établissait comme suit : 140 kt produites à partir des centrales en activité et 500 kt consommées (65 % en techniques routières, 25 % dans la fabrication des bétons de chantiers et de préfabrication, bétons prêts à l'emploi, et 10 % pour la fabrication des liants hydrauliques) : PREDIS-NPdC, *op. cit.*

312. P. Rossi, L. Gavois et G. Raoul, *Utilisation des sous-produits industriels – Les cendres volantes. Des possibilités d'emploi très diversifiées*, C5374, Techniques de l'ingénieur, 2010.

313. Nous négligeons ici les ferrailles recyclés dans la sidérurgie elle-même : 9 Mt en 1988 selon l'ANRED.

314. Un article de *PCM* (mars 1966, p. 80) affirme que certains terrils de cendres ont disparu dès le début des années 1960 pour alimenter les sous-couches d'une section de l'autoroute A25 Lille-Dunkerque (800 kt). Le stock était de 20 Mt de cendres, dont 12 Mt pour le seul NPdC : PREDIS-NPdC, *op. cit.*

315. SDES, *Chiffres clés de l'énergie - Édition 2019*, septembre 2019, p. 42.

316. Les cendres apparaissent encore, en 2016, dans la consommation de l'industrie cimentière parmi les “constituants hors-clinker” dont elles représentent 8,2 % : Infociments, *op. cit.*

317. L'extraction baisse de 25,6 Mt en 1974 à 20 Mt en 1979, mais la part du charbon dans l'utilisation des différentes sources d'énergie pour la production d'électricité thermique passe de 22 % en 1973 à 37 % en 1979.

318. Le rapport commandé par l'ANRED au BRGM ressemble à ceux des années 1950 : sur le constat (déchets “mal intégrés dans le paysage”, “remise en état du site dégradé” souvent longue et coûteuse), sur les avantages (bonnes caractéristiques physico-chimiques et faible prix de revient de leur mise en récupération) et les solutions (penser ces stocks (sic) comme source de matières premières) : Carly, *op. cit.*, p. 2.

l'arrêt de la cause (tous les puits de mine sont fermés). La production de granulats recyclés à partir de schistes houillers issus des terrils baisse à 2 Mt/an en 2005 et 1 Mt aujourd'hui³¹⁹. Comme les importations de charbon varient entre 14 et 32 Mt depuis 1975, une immense production de schistes, et le problème de valorisation associé, a été délocalisée³²⁰.

Si le déstockage existe depuis quelques décennies, au point que les meilleurs schistes ont disparu des stocks³²¹, les gisements restent très importants. Pour les bassins du NPdC³²², le total varie de 500 Mt³²³ à 700 Mt³²⁴. Il tombe à 142 Mt, destinés à la production de matériaux pour le BTP, au 1er janvier 2000³²⁵. Au 31 décembre 2009, seuls trois terrils figurent dans le Schéma Départemental des Carrières du Nord aux côtés des 23 carrières³²⁶. Cette baisse des gisements disponibles, voire la quasi-disparition de la problématique du schiste tient aussi et surtout au changement de regard porté par les institutions sur (une partie de) ces espaces : de gisement de déchets à faire disparaître³²⁷, ou gisement de ressources gratuites à exploiter, la vision dominante les présente, en partie pour répondre à une demande sociale, comme patrimoine à haute valeur environnementale et culturelle³²⁸. Cette opération de requalification, très étudiée et documentée³²⁹, est couronnée par l'inscription du bassin minier au patrimoine mondial de l'UNESCO en tant que "paysage culturel évolutif vivant" en 2012. La valorisation de l'espace-déchet, qui varie d'un bassin l'autre³³⁰, prend un autre sens, qui n'est pas orthogonal à la valorisation économique : plutôt que de valoriser matériellement les déchets dans une nouvelle production, c'est l'espace qui est valorisé. Préservés d'abord, reconvertis symboliquement ensuite, les sites miniers deviennent lieu de mémoire (patrimoine

319. ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*; UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2018, op. cit.*

320. SDES, *Chiffres clés de l'énergie - Édition 2019, op. cit.*, p. 42.

321. Il ne resterait que 4 Mt de schistes rouges exploitables dans les terrils : PREDIS-NPdC, *op. cit.*, p. 5.

322. Pour la France, les chiffres avoisinent 1 Gt (*RGRA*, juin 1980, p. 20; BRGM, 1993, p. 98) – un article mentionne 600 Mt (*RGRA*, mai 1995, p. 23).

323. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 10); *PCM* (avr. 1980, p. 29).

324. L'écart de 200 Mt peut s'expliquer par la mise en terrils pendant dix années supplémentaires, et le stock des 60 terrils. Il est aussi probable que les méthodes d'estimation soient bancales. Voir : *RGRA* (juin 1980, p. 20); Carly, *op. cit.*, p. 10.

325. PREDIS-NPdC, *op. cit.*, p. 5.

326. S. Colin et J. Picot, *Évaluation de la ressource dans la cadre du schéma départemental des carrières : Département du Nord*, n°RP- 57783-FR, BRGM, novembre 2009, p. 15.

327. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 10).

328. Face à la surexploitation des terrils, l'association "La Chaîne des Terrils" est créée en 1989, avec le soutien du fils du maire de la ville de Loos-en-Gohelle, et futur maire, pour favoriser leur protection et leur mise en valeur à des fins écologiques et récréatives. Cette association encourage notamment le verdissement des terrils et la transformation des anciens cavaliers miniers (anciennes voies ferrées minières) en chemins de randonnée. Environ 120 km de ces cavaliers ont été transformés en itinéraires de randonnée : H. Melin, « Loos-en-Gohelle, du noir au vert : » *Multitudes* 52.1 (2013), p. 59-67.

329. Sur la patrimonialisation des friches industrielles, et en particulier celles du NPdC, et le caractère identitaire que revêtent mines, lavoirs, aciéries, cokeries et terrils aux yeux des populations, voir : B. Lusso, « Patrimonialisation et greffes culturelles sur des friches issues de l'industrie minière : Regards croisés sur l'ancien bassin minier du Nord-Pas de Calais (France) et la vallée de l'Emscher (Allemagne) », *EchoGéo [en ligne]* 26 (2013); C. Mortelette, « La patrimonialisation de l'héritage minier dans le Nord-Pas-de-Calais : un outil efficace de réconciliation de la population locale avec son passé ? », *Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère [en ligne]* 7 (2020); C.-E. Houllier-Guibert et C. Mortelette, « La patrimonialisation de l'héritage industriel comme stratégie de valorisation : Vers la généralisation d'une idéologie territoriale », *Ethnologues* 42.1 (2021), p. 217-234.

330. M. Fontaine, « Visible/invisible : Ce qui reste des mines », *Techniques & culture* 65 (2016), p. 74-91.

historique), de divertissement, et d'attraction du territoire. Au total, plus de 8 000 hectares de friches industrielles ont été transformés en espaces verts, bases des loisirs³³¹ ou réservoirs faunistiques. D'espace-déchet, puis gisement de "ressources", le terril (comme le crassier³³²) devient espace-patrimoine, objet digne de restauration, d'entretien et de conservation. Signe qu'il était rattaché à, ce qui ne veut pas dire déterminé par, un point de vue spécifique, rendu légitime par l'institution qui le soutenait, le problème a été "supprimé" par cette opération. Une autre valorisation a eu lieu.

Échec et délocalisation du phosphogypse

Le cas du phosphogypse est singulier du fait de sa dangerosité – laquelle explique pourquoi c'est le seul déchet qui n'ait jamais connu de réel débouché, malgré d'importantes recherches³³³. Les réutilisations potentielles en remplacement du gypse naturel seront en effet toutes condamnées – économiquement dans l'industrie du plâtre³³⁴, techniquement dans l'industrie cimentière (remplacer le gypse par du phosphogypse comme régulateur de prise des ciments Portland³³⁵) ou les assises de chaussées³³⁶. Même les valorisations dans les terrassements routiers, les plus massives mais qualitativement les moins intéressantes, failliront pour des raisons écologiques, économiques (en raison du coût des traitements nécessaires à cette valorisation), et techniques³³⁷. Malgré d'innombrables chantiers expérimentaux³³⁸, jusqu'à la mise en place d'une usine de production de carreaux de plâtre à côté de la principale usine à Grand-Quevilly, c'est la première destination, les rejets en rivière et en mer après dilution³³⁹, qui reste majoritaire³⁴⁰.

331. Une base de loisirs à Noeux-les-Mines accueille une piste de ski artificielle installée depuis 1996 sur un ancien terril, une base nautique, un centre commercial et une discothèque.

332. S. Edelblutte, « Que reste-t-il de l'industrie après la désindustrialisation ? De la négation au patrimoine industriel », *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 88.2 (2011), p. 150-163 ; S. Edelblutte et J. Le-grand, « Patrimoine et culture industriels en milieu rural : quelles spécificités ? », *Revue Géographique de l'Est* 52.3 (2012) ; M. Depeyre, « Les métamorphoses du "Crassier" ou les ambiguïtés d'une patrimonialisation », *Ethnographies des pratiques patrimoniales : temporalités, territoires, communautés [en ligne]* 24 (2012).

333. *PCM* (nov. 1977, p. 65 ; déc. 1978, p. 34 ; avr. 1980).

334. L'usine de fabrication de carreaux de plâtre, située à Le Grand-Quevilly, valorise jusqu'à 300 kt/an de 1975 à 1979 avant de cesser du fait du coût élevé du séchage : OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés, op. cit.*, p. 4.

335. Les recherches pour la fabrication d'un liant uniquement à partir de laitier et de phosphogypse échouent, notamment parce que le phosphogypse attaque les moules ayant servi pour la fabrication des éprouvettes (*Bull. liaison*, spécial VII, nov. 1978, p. 77).

336. Le mélange du phosphogypse avec des cendres volantes est appliqué sur les chaussées très circulées (y compris les autoroutes) du NPdC dès 1969. D'autres mélanges, avec du laitier et du sable, sont expérimentés sans succès (*Bull. liaison*, mai-juin 1976 ; spécial VII, nov. 1978, p. 55 ; jan.-fév. 1980).

337. La réalisation d'un remblai expérimental destiné à recevoir un corps de chaussée donne des résultats très décevants (*Bull. liaison*, spécial VII, nov. 1978, p. 97-98). Les deux principales restrictions résident dans la pollution possible des nappes souterraines et dans ses propriétés mécaniques défavorables (*PCM*, avr. 1980).

338. Valorisations dans les accotements de RN et les terre-pleins centraux d'autoroutes. Quelques LRPC vont jusqu'à étudier l'aptitude à la mise en végétation du phosphogypse par des semis directs.

339. Les phosphogypses de Grand Quevilly et Grand Couronne ont été déposés à terre à l'aide de "gypsoducs" de 7 et 13 km de long. En 1991, 65 % du phosphogypse produit par l'usine du Havre était toujours rejeté en mer et 35 % déposé à terre : <https://www.leelementarium.fr/product/acide-phosphorique/>

340. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1982, p. 39).

L'échec est net. Les valorisations n'éliminent, au mieux, que 20 % du phosphogypse produit chaque année³⁴¹ et sont abandonnées du fait des risques de pollution de la nappe phréatique par les eaux de percolation³⁴². La véritable "solution" aura une marque typique du capitalisme néolibéral : fermeture des usines en France (la dernière à Grand-Quevilly en 2004³⁴³) et délocalisation de la production d'acide phosphorique³⁴⁴. En Tunisie, d'immenses terrils de phosphogypse s'accumulent sur les lieux de production, notamment à Sfax où se situe l'une des plus grandes mines de phosphate au monde. La question de la valorisation de ce déchet, du fait de la dangerosité et des difficultés de stockage, y devient pressante dans les années 1990³⁴⁵. Au niveau mondial, à peine 5 % du phosphogypse produit trouve un débouché³⁴⁶ dans une filière de valorisation³⁴⁷.

5.4.3 Déchets des espaces produits par le Fordisme

La dépendance au sentier (chap. 4) de la pratique spatiale d'un régime³⁴⁸ est un élément essentiel pour comprendre l'évolution du *Problème*. Si le régime néolibéral n'est plus préoccupé par la gestion du problème des déchets industriels, il en affronte de nouveaux : ceux générés par la pratique spatiale du Fordisme. Déjà en 1998, une étude estime que le volume de déchets de chantiers de construction et démolition produits au sein de l'UE augmentera de 160 Mt en 1995 à 500 Mt en 2060³⁴⁹ – il est de 700 Mt pour l'UE à 27 pays³⁵⁰. En France, le secteur du BTP a produit, en 2008, 254 Mt de déchets – dont 85 % pour les TP, surtout l'activité de terrassement, et 15 % pour le bâtiment. Un gisement dont les institutions souhaitent profiter pour produire des agrégats d'enrobés à partir des déchets des chantiers de déconstruction (fraisats, croutes, plaques), et des granulats à partir des bétons de démolition.

341. La valorisation la plus systématique concerne la fabrication de carreaux de plâtre et absorbe 800 kt/an dans la seconde moitié des années 1970, dont 300 kt en provenance de Grand-Quevilly : OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, op. cit., p. 4.

342. *Ibid.*, p. 28.

343. De 1980 à 1992, alors que les capacités mondiales annuelles de production d'acide phosphorique sont passées de 29 à 34,4 Mt, celles de la France ont chuté de 1,1 à 0,21 Mt.

344. Certains économistes croient observer une courbe de "Kuznets environnementale" dans les pays riches : J. V. Alstine et E. Neumayer, « The Environmental Kuznets Curve », *Handbook on Trade and the Environment* (2008) ; de nombreuses critiques soulignent qu'il s'agit d'une simple délocalisation des pollutions et des émissions de CO₂ : L. Hardt et al., « Untangling the drivers of energy reduction in the UK productive sectors : Efficiency or offshoring ? », *Applied Energy* 223 (2018), p. 124-133.

345. Dans la ville de Sfax, deux usines de production d'acide phosphorique à partir des phosphates naturels se sont implantées dès le début des années 1960. Le stockage du phosphogypse y a été fait de façon anarchique directement sur le sol sans aucune mesure de protection. Les immenses terrils des usines occupent respectivement 160 et 80 ha, et abritent 5,3 Mm³ et 15 Mt (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1999).

346. Le taux de contamination (fluor, phosphates et métaux lourds) des sols et des eaux de la nappe au voisinage des sites de stockage est très élevé. Ces eaux vont, par l'écoulement souterrain, rejoindre la mer et constituent un risque potentiel pour la faune et la flore (*Bull. liaison*, jan.-fév. 1999, p. 38).

347. OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, op. cit., p. 3.

348. Alors que la géographie évolutionniste focalise son attention sur les "actifs spécifiques immatériels", nous ajoutons les actifs matériels (infrastructures ou capital fixe) dans l'analyse.

349. R. K. Dhir, N. A. Henderson et M. C. Limbachiya, éd., *Sustainable construction : use of recycled concrete aggregate*, Telford, 1998.

350. Les terres excavées des tunnels sont en hausse dans l'UE. Sur les législations européennes, voir : M. Haas et al., « Waste or valuable resource – a critical European review on re-using and managing tunnel excavation material », *Resources, Conservation and Recycling* 162 (2020), p. 105048.

Si le *Problème* n'a pas une origine néolibérale, s'il n'y a rien de néolibéral dans le fait que les espaces produits dans les années 1960 servent la production de l'espace quelques décennies plus tard, sa gestion est grandement influencée par l'époque : choix du maintien de la norme autoroutière héritée du Fordisme (qui oblige à sempiternellement détruire et reconstituer les chaussées), accentuation de la mondialisation et du libre-échange, et du commerce portuaire (donc du dragage permanent et profond pour le fonctionnement des plus grands ports), et choix d'une politique de rénovation-démolition, plutôt que réhabilitation, du bâti fordiste. Autrement dit, les flux de déchets engendrés par le stock de bâti ne sont pas le résultat d'une loi de la nature, un genre de la "loi de la vieillesse" des objets, mais de choix politiques. Les immenses flux de déchets de démolition annoncés pour les prochaines décennies constituent un scénario solidaire de ces politiques.

Production autophage des routes

Au-delà des politiques de renforcement (chap. 4), qui ajoutent des couches rigides au réseau, la construction et l'entretien des routes est une politique extrêmement coûteuse matériellement. En plus de consommer d'immenses flux biophysiques, les routes, selon l'intensité du trafic lourd qu'elles supportent, produisent continuellement des déchets qui restent la plupart du temps invisibles, y compris statistiquement³⁵¹. Selon que la chaussée est rigide (béton de ciment³⁵²) ou souple (revêtement bitumineux³⁵³), les couches de roulement, voire toute la structure (pour les chaussées rigides), doivent être périodiquement remplacées.

Au tournant des années 1980, un certain nombre de routes à fort trafic, pourtant récentes, commencent à s'abîmer. Des déformations importantes (orniérage et usure) sont, par exemple, constatées en 1981 sur les voies lentes de l'autoroute A1 entre Bapaume et Fresnes. Le vieillissement des chaussées ne suit pas une loi "naturelle" : il est largement déterminé par l'intensité du trafic de poids lourds qui est un trait caractéristique du capitalisme néolibéral et de la mondialisation (chap. 4). C'est là une conséquence inéluctable de la politique autoroutière : depuis son ouverture en 1968, cette section aurait supporté 56 millions de véhicules dont 12 millions de poids lourds de plus de 5 tonnes³⁵⁴. Comme un gisement énorme est annoncé, les ingénieurs sont incités à réutiliser les déchets produits lors d'opérations de ren-

351. Le réemploi sur place est la norme de l'entretien des routes au XIXe. Il est, déjà, impossible de déterminer le volume de matières réutilisées. "Or, lorsque l'entretien est dans son état normal, il faut qu'il y ait une compensation exacte entre le poids de ce qu'on fait entrer dans la chaussée et le poids qu'on en retire ; mais il n'est pas nécessaire que ce poids soit tout entier en matériaux ; car une chaussée, même parfaite, contient encore beaucoup de détrit, qui sont essentiels pour en remplir tous les vides. Si pendant l'année on a ôté 100 mètres de détrit, soit en boue, soit en poussière, la chaussée n'a peut-être perdu que 60 mètres en matériaux. On peut donc ajouter aux matériaux qu'on emploie une certaine quantité de détrit, qui, mélangée avec eux ou les recouvrant, en facilitera la prise, évitera des cahots aux voitures et des chocs aux matériaux. L'emploi judicieux du détrit peut donc apporter une assez grande économie dans la dépense des matériaux". Instructions de 1839, citées dans Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *op. cit.*, p. 9.

352. Hormis la réfection de l'étanchéité des joints, il n'existe pas de technique d'entretien adaptée à la chaussée rigide. La remise en état des anciennes structures est un entretien lourd (*RGRA*, sept. 1984).

353. En France, où la première centrale d'enrobage date de 1947, la consommation annuelle de bitume routier est de 384 kt en 1950 à 2,6 Mt en 1973, 1,7 Mt en 1984 et 2,8 Mt en 1999 (*RGRA*, déc. 2000).

354. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1983).

forcement, rénovation, ou rectification de tracé³⁵⁵. Ce sont les enrobés bitumineux qui sont spécifiquement visés, dans une période où les économies d'énergie sont préconisées du fait de la hausse des prix des produits pétroliers (y compris le bitume), et où la lutte contre les mises en décharge s'intensifie. Quelques estimations, jugées conservatrices, évaluent le total des quantités d'enrobés annuellement mises à la décharge, "dans des conditions pas toujours esthétiques" (sic), à 2 Mt, dont 120 kt de bitume³⁵⁶. A partir des années 1980³⁵⁷, les chaussées renforcées, avec une couche de béton bitumineux en surface, vont pouvoir être entretenues par retraitement sur place ou par recyclage en centrale³⁵⁸.

Malgré l'engouement apparent des années 1980, divers témoignages suggèrent que les techniques de recyclage des enrobés restent peu utilisées, pour partie du fait de la chute du prix du bitume, entre 1985 et 1993³⁵⁹. Une nouvelle vague de promotion du recyclage apparaît dans les années 1990, en écho au paradigme du développement durable. Le patronat expose de manière explicite l'idée du réseau routier comme "plus grande carrière de France³⁶⁰", "gisement à exploiter" ou "source de granulats³⁶¹". Progressivement, les réglementations imposent de limiter au maximum l'apport de matériaux nouveaux pour l'entretien des chaussées³⁶². Si le recyclage a augmenté depuis trente ans, les techniques conservent une efficacité limitée du fait du maintien de la norme de l'essieu à 13 tonnes³⁶³ et n'ont pas entraîné une baisse drastique de la production d'enrobés bitumineux (annexe D). Cette valorisation, qui a les attraits d'un succès technique, contribue à soutenir matériellement la norme sociale autoroutière fordiste.

355. Des recherches existent déjà dans les années 1930 pour réutiliser les agrégats de surface : Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, op. cit., p. 28-30.

356. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1980, p. 103).

357. Le premier chantier expérimental est réalisé en 1976-77, sous l'impulsion du SETRA, sur une section de l'autoroute A1 entre Le Bourget et Roissy, où la couche de fondation contient des granulats élaborés par concassage du béton de l'ancienne chaussée.

358. La politique des renforcements coordonnés (qui se concentre sur la période 1969-1980) consistait à réutiliser les matériaux existants dans une fonction moindre : l'ancienne chaussée, au terme de sa vie, servait de fondation d'une nouvelle structure qui nécessitait des nouvelles couches de bases et de roulement.

359. Voir : *Bull. liaison* (nov.-déc. 1992, mai-juin 1993) ; *RGRA* (nov. 1993, mai 1995, p. 24).

360. *Travaux* (nov. 1999).

361. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1997, p. 7).

362. SETRA, *Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées*, op. cit.

363. Un article souligne explicitement que la charge maximale de l'essieu de 13 t conduit à des épaisseurs de chaussées très fortes pour les trafics élevés. Ceci restreint l'extension de ces techniques, qui, "pour être réalisées convenablement, notamment pour obtenir une compacité suffisante des matériaux, imposent avec les engins actuels des épaisseurs de couche ne dépassant guère 30 cm." Il précise que pour des pays où la charge maximale à l'essieu est beaucoup plus faible, les épaisseurs retraitées pourront suffire, seules, à constituer le corps de la chaussée, même pour les trafics élevés (*Bull. liaison*, mai-juin 1990, p. 117).

Démolition-reconstruction de l'espace produit

Des usines et centres commerciaux, aux millions de logements³⁶⁴ et bureaux³⁶⁵, la production de bâtiments dans la pratique spatiale du Fordisme a été particulièrement intense en un temps assez court. Du fait du vieillissement du bâti en béton, dont "l'espérance de vie" ne dépasse pas 80 à 100 ans³⁶⁶, et de la mise en place d'une politique de démolition, ces espaces sont peu à peu désignés comme des espaces-déchets et gisement de matières.

Le sujet s'impose dans les années 1970, pour les raisons déjà évoquées dans le chapitre 1 – fortes inquiétudes sur les granulats en IDF (qui, comme la région NPdC, est déficitaire en granulats), recherche d'économie de matières premières, tensions sur les décharges –, et du fait des premières grandes démolitions de bâtiments en béton armé (comme les abattoirs de la Villette³⁶⁷ ou la gare de la Bastille) et les projets de démolition de logements sociaux (évoqués pour la première fois en 1975³⁶⁸). Comme pour le recyclage des chaussées, l'engouement grandit au début des années 1980 en IDF : la première installation fixe de démolition est utilisée en 1981, à l'occasion de la démolition des abattoirs de la Villette ; un contrat est signé, en 1984, entre l'État, la région et l'ANRED pour intégrer le recyclage des déchets de démolition dans le programme régional de valorisation. A partir de 1982, l'élaboration industrielle de granulats recyclés croît rapidement avec le nombre d'installations : 5 en 1985, 20 en 1991, 29 en 2000³⁶⁹. Cette valorisation va être prise en charge par différents programmes dans les années 1990 et 2000³⁷⁰, publics et privés, nationaux et européens, qui la présenteront comme une réponse aux "soucis de préserver ou d'économiser les granulats naturels" et par "respect de l'environnement", tout en maintenant l'impératif de valorisation économique. Malgré de nombreuses initiatives, les quantités de granulats nécessaires aux nouvelles constructions ne

364. Environ 8,7 millions de logements ont été construits entre 1950 et 1975 – dont 800 000 pour les seules Zones d'Urbanisation Prioritaire entre 1959 et 1969 : Lescure, *op. cit.*, p. 70.

365. Entre 1962 et 1974 plus de 10,6 Mm² de bureaux ont été construits en IDF – 400 000 m² dans les seules Villes Nouvelles entre 1968 et 1973 ; 6,9 Mm² entre 1974 et 1984 (en période de crise) ; 13,9 Mm² entre 1985 et 1991 : E. Crouzet, « Évolution récente de la géographie des bureaux en Île-de-France », *Annales de Géographie* 110.618 (2001), p. 151-174 ; selon l'UNICEM, il y aurait environ 0,5 m³ de béton dans un mètre carré de bureau : DRIEE, *L'approvisionnement du Grand Paris en matériaux*, Note de problématique, Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie, décembre 2012, p. 13.

366. Streeck et al., « Stock-flow relations in the socio-economic metabolism of the United Kingdom 1800–2017 », *op. cit.*

367. Projeté en 1865 par Haussmann dans le but de regrouper à la Villette les abattoirs et marchés aux bestiaux de Paris, le complexe est inauguré en 1867. De Gaulle décide de leur reconstruction (1959) pour alimenter le Marché Commun de 700 kt de viande par an. Le site ferme en mars 1974, et sa reconversion est décidée en 1979.

368. A. Berland-Berthon, « La démolition des ensembles de logements sociaux : l'urbanisme entre scènes et coulisses », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Bordeaux III - Michel de Montaigne, 2004.

369. Voir : *Annales des Mines* (fév. 1993) ; DRE-IDF, *Valorisation des excédents de déblais de travaux publics*, Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, décembre 2003, p. 9.

370. Le Syndicat des Recycleurs du BTP (SRBTP) est créé en 2009 avec le soutien de l'ADEME. Des projets européen, national, régionaux aboutissent à une méthodologie de prescriptions. Voir : Arabi et Berredjem, *op. cit.* ; FNTP, *Etude de caractérisation de matériaux issus de plateformes de tri et de valorisation de déchets du BTP*, Rapport final, 2011 ; SRBTP, *Guide de conception et de fonctionnement des installations de traitement des déchets du BTP*, Fédération française du bâtiment, 2014.

baissent pas, puisqu'elles restent largement supérieures aux démolitions en IDF³⁷¹. Le problème est accentué par les démolitions de bureaux³⁷² et la politique de rénovation-démolition des grands ensembles de logements sociaux – en hausse régulière depuis les années 1980, qui atteint 5 000 à 6 000 logements par an entre 1988 et 1994 et plus de 9 000 en 2003 –, qui devient une politique nationale et systématique avec le plan Borloo (2003). Alors qu'il s'agissait d'opérations exceptionnelles, limitées à de rares bâtiments dont l'état de dégradation ne laissait pas entrevoir d'autre avenir, la nouvelle loi prévoit une nouvelle politique de la ville qui s'appuie sur la démolition de 200 000 logements entre 2004 et 2008 (et 250 000 pour 2004-2013). Ce choix politique ne va pas de soi³⁷³ puisque que les chiffres vont bien au-delà de la destruction des immeubles les plus dégradés³⁷⁴. Elle est dictée par un souci économique, une démolition/reconstruction s'avère bien souvent plus rentable qu'une restauration avec remise aux normes, et s'inscrit dans une logique néolibérale³⁷⁵. Si la démolition des constructions et le concassage du béton armé semble la plus logique économiquement et techniquement, puisqu'il est impossible de réemployer en l'état du béton, elle écarte les possibilités de réhabilitation³⁷⁶ et de réemploi – cette dernière, exclue aujourd'hui de la définition même de valorisation, étant historiquement la plus courante³⁷⁷.

371. A Paris, le solde démolition/construction des bureaux est largement positif : 1 Mm² de 1961 à 1966 (ce solde est négatif pour l'industrie), 2,5 Mm² de 1971 à 1976, et encore 1 Mm² entre 1989 et 1999. D'après Chesneau, plus du tiers du parc de bureaux des années 1960-1970 est renouvelé dans les années 1990 dans les Hauts de Seine. I. Chesneau, « Dysfonctionnement dans le mode de réception de l'architecture contemporaine : le cas de l'obsolescence », dans : *La réception de l'architecture*, éd. par R. Klein et P. Louguet, Cahiers thématiques, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 2002, p. 67-76 ; I. Chesneau, « De l'équilibre anticipé à la coexistence des différences : L'obsolescence des immeubles de bureau », *Les Annales de la recherche urbaine* 92.1 (2002), p. 131-139.

372. Jusque-là, pour les départements de Seine Saint-Denis et Hauts-de-Seine, 75 % des surfaces démolies sont des bureaux construits avant 1970 : I. Chesneau, « Le renouvellement des immeubles de bureaux. Le cas de l'Île-de-France », *Les Annales de la recherche urbaine* 97.1 (2004), p. 67-74, tableau 2 ; Crouzet, *op. cit.*

373. G. Baudin et P. Genestier, « Faut-il vraiment démolir les grands ensembles ? », *Espaces et sociétés* 124-125.1 (2006), p. 207-222 ; A. Berland-Berthon, « La démolition des immeubles de logements sociaux. L'urbanisme entre scènes et coulisses », *Les Annales de la recherche urbaine* 107.1 (2012), p. 6-17.

374. Ces démolitions concernent en premier lieu les immeubles construits à la hâte dans les années 1950 et 1960 autour de normes inférieures à celles du HLM ordinaire qui, du fait de leurs faibles loyers, concentrent les ménages les plus pauvres et les grandes familles immigrées. Voir : R. Epstein, *La rénovation urbaine : démolition-reconstruction de l'État*, Domaine Gouvernances, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2013, p. 83.

375. Adoptant une perspective foucauldienne, Epstein montre que ce programme illustre un nouveau modèle de relations entre l'État et les territoires, qu'il nomme le "gouvernement à distance". Cette politique est simultanément une "démolition-reconstruction" de l'État, qui se retrouve conforté : *ibid.*, p. 216, 304.

376. Une part d'obsolescence architecturale existe dans la construction de bureaux, dont l'espérance de vie est parfois inférieure à trente ans. Voir : Chesneau, « Dysfonctionnement dans le mode de réception de l'architecture contemporaine : le cas de l'obsolescence », *op. cit.* ; *idem*, « De l'équilibre anticipé à la coexistence des différences », *op. cit.* ; Augiseau et Barles soulignent aussi que l'obsolescence ne relève pas seulement de la qualité intrinsèque du bâti. La réhabilitation des bureaux jugés obsolètes en logements, plutôt que leur destruction, permettrait de sensiblement limiter les flux de matières : V. Augiseau et S. Barles, *Bilan de flux de matières de la région Ile-de-France en 2015*, Laboratoire Géographie-Cités, mai 2018.

377. Le réemploi, ou recyclage, des matériaux de démolition est la norme lors des travaux coordonnés par Haussmann à Paris. Au XIXe, le réemploi des déchets, gravats, boues et poussières, est la norme dans l'entretien des routes. Les gravats provenant des bâtiments détruits par les bombardements sont réemployés en période de reconstruction. Voir : *Bull. liaison* (nov.-déc. 1984, p. 57) ; Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *op. cit.* ; Ghyoot et al., *op. cit.*

La majorité des déchets du bâtiment est aujourd'hui issue de la démolition (66 %), suivie par la réhabilitation et la construction neuve. Ainsi naît le rêve des thuriféraires de l'économie circulaire : puisque les déchets de démolition augmentent, il est vertueux de les réintégrer dans les activités de construction. Les routes et les bâtiments démolis viendraient nourrir l'entretien et les nouvelles constructions. Le développement de filières de valorisation des déchets inertes du BTP est très fortement encouragé par les politiques publiques nationales, régionales et départementales en partenariat avec les syndicats patronaux du BTP ³⁷⁸.

Sédiments – déchets du libre-échange

La politique du développement de Grands Ports Maritimes, entamée dans les années 1960, est une caractéristique de la pratique spatiale de la fin du Fordisme (chap. 4). La transformation de ces espaces est à l'origine du problème de valorisation des sédiments. La généralisation d'emploi de conteneurs impose de nouvelles installations à terre et une reconversion des structures portuaires nationales ³⁷⁹. Le nouveau port de Dunkerque illustre cet aspect crucial de la pratique spatiale du Néolibéralisme : construit dans l'espoir d'accueillir des navires de 300 kt (contre 100 kt jusqu'en 1975), et de 22 m de tirant d'eau, son extension, qui inclut des nouveaux bassins et un chenal artificiel de 3,5 km, exige le dragage de plus de 42 Mm³ (annexe B). Son fonctionnement demande un dragage permanent, voire grandissant, afin d'accueillir des navires à tirant d'eau toujours plus important ³⁸⁰.

Jusqu'aux années 1990, les sédiments ne constituent pas un problème : *a priori* sans grande valeur géotechnique, ils étaient tous immergés au large ³⁸¹. Au début des années 2000, le curage des rivières canalisées introduit des interrogations environnementales dans le NPdC, où les boues sont souvent polluées du fait du passé industriel de la région. Ceci engendre un problème foncier puisqu'il devient nécessaire de trouver de nouveaux terrains de dépôts, qu'il faut gérer ou acquérir ³⁸². Les chiffres sont éloquents : environ 90 % des déblais de dragage portuaire depuis le début des années 2000 sont inévitablement engendrés par le fonctionnement des sept Grands Ports Maritimes. Ces quantités sont propres à ces espaces produits et aux exigences sociales de la logistique du commerce mondial. Par conséquent, ce problème de valorisation est inhérent à la pratique spatiale du Néolibéralisme. Les sédiments sont la preuve que l'entretien de l'espace produit, le travail nécessaire au simple fonctionnement de l'infrastructure, engendre en permanence du déchet.

5.4.4 La dépendance au sentier des régimes d'accumulation

Cette section démontre à la fois l'intérêt d'insérer le *Problème* dans l'évolution de la pratique spatiale des régimes et, par suite, l'intérêt de la TR à inclure ce concept dans son cadre théorique. La genèse de chaque problème doit à la structure productive ou extractive, qui est

378. Par exemple, le projet national RECYBETON de 2012 à 2018 : F. de Larrard et H. Colina, éd., *Le béton recyclé*, Ouvrages Scientifiques OSI4, Marne-la-Vallée, IFSTTAR, 2018.

379. Vigarié, *op. cit.*

380. La hausse du commerce international implique aussi un dragage plus fréquent des rivières puisque le transport de marchandises par voie fluviale augmente en valeur absolue (y compris, temporairement, pour les approvisionnements des sidérurgies qui persistent en Lorraine).

381. Bataillard, Chevrier et Hoang, *op. cit.*

382. *PCM* (déc. 2002, p. 70-71).

responsable d'un saut quantitatif dans les flux de déchets, et au pouvoir symbolique d'une institution, y compris juridique, assez puissante pour imposer le problème de valorisation comme légitime d'attentions. Tout comme chaque problème concret naît physiquement et idéologiquement (ou symboliquement), chacun peut aussi disparaître, sans pour autant être matériellement "résolu", par l'un de ces canaux. L'examen des évolutions des problèmes spécifiques fournit des éléments importants, qui viennent complexifier la montée en généralité (table 5.2). Cette enquête sur la dynamique historique du *Problème* des déchets éclaire en retour l'importance de la pratique spatiale dans la dynamique des régimes d'accumulation.

Variante	Caractéristiques	Déchets concernés
Persistance	Maintien de l'activité responsable du déchet	Mâchefers, sédiments, déchets de démolition et routes
Hystérèse	Persistance du problème du fait des stocks de déchets	Certains laitiers, schistes et cendres volantes
Disparition par substitution	Substitution d'une matière par une autre	Cendres volantes, schistes rouges
Délocalisation	Délocaliser l'activité qui produit le déchet	Phosphogypse; certains laitiers
Redéfinition du problème	Fin du problème par requalification de l'espace-déchet	Certains schistes et laitiers

TABLE 5.2 – Tableau synthétique des évolutions des problèmes des déchets.

L'évolution majoritaire est celle où le problème persiste car son origine technico-politique est inchangée. C'est le cas pour les mâchefers, sédiments, déchets de démolition et des routes. Une seconde possibilité est l'hystérèse : la source du flux a disparu, mais l'espace-déchet demeure. C'est le cas pour certains terrils constitués de laitiers, schistes et cendres volantes. Parmi les évolutions qui ont conduit à la "fin" du problème, il y a la substitution : la production de cendres volantes diminue avec le passage au fioul³⁸³ et avec la fermeture progressive des centrales thermiques. La disparition par délocalisation est bien documentée lorsque les déchets sont jugés trop dangereux pour les écosystèmes. Le meilleur exemple est le phosphogypse dont la production a cessé avec le choix d'importer les engrais. C'est aussi le sort des laitiers : si la délocalisation de certaines activités sidérurgiques vers l'étranger en fait disparaître une part importante, l'inauguration de hauts-fourneaux à Fos et Dunkerque fait aussi baisser leur production nationale (puisque du minerai enrichi importé est utilisé). Cinquième variante : la suppression du problème par changement de qualité sociale de l'espace-déchet. La patrimonialisation des terrils, phénomène qui commence dans les années 1990³⁸⁴, leur

383. L'objectif de consommation annuelle de 15 Mt de charbon dans les centrales EDF vers 1970, décidé en 1963, est atteint en 1977, mais à partir de plus de 10 Mt de charbon importé. La consommation de fioul qui augmente jusqu'à 14 Mt 1973 décroît de façon continue jusqu'à moins de 1 Mt en 1984 : F. Scheurer, « Histoire des centrales thermiques de 1946 à 1980 », *Bulletin d'histoire de l'électricité* 10.1 (1987), p. 121-142.

384. Le patrimoine devient une "ressource territoriale", un outil de développement économique et de communication. H. Gumuchian et B. Pecqueur, éd., *La ressource territoriale*, Collection Géographie, Paris, Economica : Anthropos, 2007 ; P.-A. Landel et N. Senil, « Patrimoine et territoire, les nouvelles ressources du développement », *Développement durable et territoires [en ligne]* 12 (2009).

fait perdre leur qualité d'espace-déchet : on passe ainsi d'un espace-déchet à résorber, à un espace-patrimoine (ou espace-mémoire) à conserver.

Ces évolutions semblent cohérentes avec les enseignements de la TR sur l'économie française depuis 1945. Le cas dominant est celui où le *Problème* persiste parce que les structures sociales associées sont restées (relativement) inchangées. C'est le cas du mâchefer d'incinération : déchet valorisé depuis l'entre-deux-guerres, dont la production est sensiblement amplifiée par le Fordisme, qui persiste du fait de la permanence de normes de consommation de masse et de l'incinération comme mode de traitement³⁸⁵ – et reste problématique du fait de l'absence de valorisation qualitativement intéressante. La même explication vaut pour les sédiments, les chaussées à retraiter ou les déchets de démolition qui persistent tant qu'il est décidé que les immenses ports et les routes doivent supporter des engins de grande taille (navires ou camions), et tant que les politiques de construction en béton armé comme celle de démolition se maintiennent. La transformation énergétique et la délocalisation des chaînes de production de certaines industries³⁸⁶ sont des caractéristiques bien documentées du passage au Néolibéralisme en France. La fin du charbon comme énergie dominante et la désindustrialisation marquent la fin du Fordisme³⁸⁷. La disparition du problème des cendres s'accompagne, simultanément, de la naissance de nouveaux problèmes, comme les déchets nucléaires (qui devient un problème de masse). Enfin, la patrimonialisation peut être rendue intelligible par la mise en concurrence des territoires et leur recherche d'attractivité dans le capitalisme néolibéral. Dans l'ensemble, tout ceci est cohérent avec l'idée qu'un régime a les problèmes de valorisation de sa structure générale.

Le passage d'un problème de flux à un problème de stocks doit toutefois être pris au sérieux dans la construction d'un modèle explicatif. Si dans les grandes lignes la TR apporte une appréciable cohérence d'ensemble, l'émergence des problèmes des déchets issus des stocks interroge : quels liens avec le régime néolibéral ? L'hystérèse reste par exemple inexplicable : l'origine des terrils remonte au Fordisme, voire parfois au XIXe siècle, et les solutions, technique et économique, sont inchangées depuis soixante ans au moins. Seules, les structures extractives et productives d'un régime sont insuffisantes pour rendre compte des déterminants du *Problème* qui dépendent d'un autre régime. Comme les régulationnistes admettent le rôle de l'inertie des arrangements institutionnels fordistes, la transformation du *Problème* en un problème de stocks incite à introduire l'inertie de l'espace produit comme élément supplémentaire au modèle explicatif de la dynamique du *Problème* depuis 1980. La propriété de dépendance au sentier du chapitre 4 est à nouveau cruciale : l'accumulation de stocks, reflet d'une pratique spatiale, contraint matériellement les contours du *Problème*. Des stocks de routes à ceux des logements, en passant par les montagnes de cendres ou de schistes, la pratique spatiale du Néolibéralisme doit composer avec les espaces produits auparavant. Comme le chapitre précédent le suggérait, il faut ajouter dans le concept de pratique spatiale d'un régime, outre les dispositifs qui sont nécessaires à la production de nouveaux espaces, la gestion (matérielle et idéelle) des espaces produits par la pratique spatiale d'un régime

385. Le caractère néolibéral ne se lit pas dans la gestion de ce déchet, qui, perfectionnements techniques mis à part, est la même depuis un siècle, mais dans la présence croissante d'acteurs privés dans les filières de valorisation.

386. W. Milberg et D. Winkler, « Financialisation and the dynamics of offshoring in the USA », *Cambridge Journal of Economics* 34.2 (2010), p. 275-293.

387. Cahen-Fourot et Magalhães, *op. cit.*

antérieur. L'articulation de ces inerties spatiales et matérielles, qui sont solidaires, fournit le socle à l'intelligibilité du *Problème*. Après 1980, celui-ci consiste principalement en la gestion des déchets des politiques mises en place dans la seconde moitié du Fordisme (consommation de masse, libre-échange, politique de la voiture), inscrites dans des stocks et des normes, qui sont simplement entretenues et reproduites tant qu'elles sont nécessaires au nouveau régime.

L'épaisseur du verrou que représente l'espace bâti pour le problème des déchets n'est pas fixée à l'avance : il y a, bien sûr, une matérialité, un héritage massif, fruit d'une pratique spatiale, mais elle est toujours prise dans des structures sociales dont hérite chaque régime avec le bâti. Le seul stock matériel, même s'il vieillit, ne pose pas un problème de déchets : c'est le cas parce qu'il est décidé qu'il doit sans cesse être réparé et maintenu. La matérialité de l'espace produit, si elle est présentée comme un fait neutre, peut venir soutenir et reproduire certains rapports sociaux. C'est pourquoi la simple présence de ports aussi grands, et l'injonction à les draguer interminablement pour qu'ils fonctionnent, ne peut être désolidarisée du choix politique du maintien du libre-échange et de la globalisation ; de même, l'entretien d'un réseau du fait de son existence, doit être rattachée au choix d'une politique de mobilité autoroutière et de la domination des camions dans le transport des marchandises. Comme cette thèse le prouve, aucun phénomène n'est jamais purement matériel – et aucun n'a de solution purement technique – et tout schème fonctionnaliste est voué à l'échec. Ainsi, l'espace produit n'est ni un sujet automate, ni une chose neutre idéologiquement et asociale, et ces deux formes d'inertie ne sont jamais indépendantes. Elles peuvent se renforcer – l'héritage du bâti autoroutier renforce celui d'une norme sociale autoroutière (chap. 4) – mais aussi se séparer, jusqu'à devenir orthogonales. Le régime néolibéral hérite de terrils et de crassiers, mais pas des politiques extractives et industrielles associées. Le phénomène d'hystérèse en est un exemple : les valorisations perdurent en dépit de la disparition des configurations qui leur ont donné naissance. Dans ce cas les problèmes peuvent perdre en intensité, voire disparaître en cas de requalification de l'espace-déchet. Si la TR entend être capable de rendre compte de la trajectoire socio-économique des territoires, tant à l'échelle d'un bassin économique³⁸⁸ ou nationale, y compris de questions de déchets, elle doit intégrer la pratique spatiale des régimes dans son cadre.

5.5 La valorisation n'est pas le débat

Les valorisations dans la production d'espace sont très anciennes, locales, massives, économiques, souvent astucieuses qualitativement, et prises en charge par de puissants acteurs institutionnels soucieux de se débarrasser de grandes masses de matériaux de façon économique : au contraire du récit qui prétend que le métabolisme circulaire gagne à être déployé, en améliorant les techniques, les filières ou la commercialisation, celui-ci constitue la norme pour les grandes masses de déchets depuis 1945. Si les origines idéelles tiennent au pouvoir véridictionnel de certaines institutions, ce chapitre montre que les origines matérielles du *Problème* doivent beaucoup à la combinaison des structures extractives et productives, ainsi que des inerties des normes sociales et des espaces produits. C'est pourquoi la production d'espace, débouché privilégié depuis 1945, est locale et circulaire – pour des raisons éco-

388. Cet apport compléterait utilement l'étude de la dépendance au sentier de Dunkerque : Laperche et Uzunidis, *op. cit.*

nomiques, spatiales et écologiques. Alors que les déchets industriels perdent nettement en importance depuis 1980, le secteur du BTP, lui, occupe une place encore plus centrale dans les boucles des flux de matières : il absorbe toujours les déchets, mais surtout il en produit désormais des quantités immenses à partir des stocks. Si le cadre classique de la TR, sans matière ni espace, ne peut penser les dynamiques exposées ici, l'ajout du concept de pratique spatiale des régimes le permet – c'est là une nouvelle illustration de sa puissance. Déplions pour conclure, les enseignements de ce chapitre sur la valorisation. L'économie circulaire a déjà reçu un certain nombre de critiques sérieuses³⁸⁹, que nous pouvons repérer, avec plus ou moins de netteté, dans notre étude : sa traduction dans les textes officiels permet "d'étendre le champ du capitalisme" à des matières considérées sans valeur il y a encore peu de temps³⁹⁰ ; son penchant pour l'échelle micro ; son discours post-politique³⁹¹ ; le caractère techniciste et gestionnaire de la prise en charge du déchet ; le fait qu'elle constitue un cadre excluant au regard de pratiques alternatives de réemploi non marchand³⁹².

Deux autres illustrations des logiques vicieuses de l'économie circulaire sur les déchets du BTP peuvent être ajoutées ici. Comme l'a montré Baptiste Monsaingeon, il existe une dépendance évidente, et vitale pour leur rentabilité, des filières de valorisation à l'approvisionnement : si les déchets deviennent les principales ressources, cela condamne à jeter pour continuer à produire³⁹³. Cet inversement de logique est omniprésent dans notre étude³⁹⁴. Le cas des mâchefers, qui sont le fruit de l'échec de méthodes de recyclage et du choix d'une incinération indistincte, l'illustre très bien : pour accroître la valorisation, il faut non seulement produire plus de déchets ménagers, mais en plus les incinérer le plus possible³⁹⁵. Le

389. N. Gregson et al., « Interrogating the circular economy : the moral economy of resource recovery in the EU », *Economy and Society* 44.2 (2015), p. 218-243 ; C. Arnspurger et D. Bourg, « Vers une économie authentiquement circulaire : Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité », *Revue de l'OFCE* 145.1 (2016), p. 91-125 ; P. Desvaux, « Économie circulaire acritique et condition post-politique : analyse de la valorisation des déchets en France », *Flux* 108.2 (2017), p. 36-50 ; Monsaingeon, *op. cit.* ; R. K. M. Clube et M. Tennant, « The Circular Economy and human needs satisfaction : Promising the radical, delivering the familiar », *Ecological Economics* 177 (2020), p. 106772.

390. Dreyfus, futur DRCR, qualifie les cendres volantes de déchets tant qu'elles n'ont pas une "utilisation rentable", et de "sous-produit commercialisable" dès lors qu'elles peuvent remplacer un matériau plus onéreux (*Annales ITBTP*, série M, jan. 1967, p. 104).

391. A. Kenis et M. Lievens, « Searching for 'the political' in environmental politics », *Environmental Politics* 23.4 (2014), p. 531-548 ; A. Kenis et M. Lievens, « Greening the Economy or Economizing the Green Project ? When Environmental Concerns Are Turned into a Means to Save the Market », *Review of Radical Political Economics* 48.2 (2016), p. 217-234.

392. Celles-ci, qui étaient courantes dans certains groupes sociaux, sont délégitimées et invisibilisées (par exemple écartées des statistiques officielles).

393. Monsaingeon, *op. cit.*, p. 107.

394. Un exemple original est celui des importations de ferraille pour la filière de production d'acier dans la filière électrique, qui proviennent en 1960, pour 41 %, de démolitions navales. Cette sidérurgie présente également une propriété autophage : le taux d'incorporation de ferrailles en sidérurgie grimpe de 35,7 % en 1982 à 51 % en 2014. Voir : Beaujeu-Garnier, *op. cit.* ; ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*, p. 18.

395. Les acteurs en viennent à prôner des boucles vicieuses. Pour que le recyclage des enrobés se développe, un facteur favorable explicitement mentionné dans *RGRA* (nov. 1993) est l'accroissement du trafic poids lourds : celui-ci dégradera les chaussées d'une façon adéquate pour des remises en état par régénération. *A contrario*, la prévision des grands travaux est essentielle afin d'intégrer le recyclage dès les appels d'offres de démolition (*Bull. liaison*, nov.-déc. 1984 ; *Annales de la Voirie*, oct. 1986, p. 292-293). Article 85 de la loi n°2016-816 pour "l'économie bleue" affirme que le rejet en mer des sédiments et résidus de dragage pollués sera interdit à partir de 2025 : des dizaines de millions de tonnes pourront alors être valorisées.

paradoxe est plus évident encore avec quelques déchets considérés dans ce chapitre : ceux issus des productions les plus polluantes conduisent souvent aux meilleures valorisations – comme les cendres volantes sulfo-calciques, qui proviennent des centrales utilisant le lignite (bien plus polluant que le charbon). Un autre aspect, reliant le prétendu “vert” au “noir”, qui est exclu de la formulation du *Problème*, concerne leur transport qui réclame des millions de trajets par camion – 12 % des tonnages de marchandises transportés en IDF sont des déchets du BTP³⁹⁶. Ces millions de trajets, et les émissions associées, soulignent que la production de granulats recyclés est une solution qui n'est pas si “verte”. Une boucle matérielle vicieuse existe : plus il y a de déchets du BTP, plus il faut les transporter, plus il y a des camions qui abiment les chaussées, plus il y a des déchets du BTP, etc. Conséquence logique de ces logiques vicieusement circulaires : plus on construit de bâtiments et de grandes infrastructures, plus il sera possible d'éviter la mise en stockage des déchets. C'est la construction permanente qui fait du secteur du BTP un réceptacle sans fin pour les déchets, donc qui permet d'augmenter les taux de valorisation. Ce résultat n'est vrai que dans les arrangements institutionnels actuels. Comme expliqué plus haut, le vieillissement du bâti n'a rien de naturel, sa vitesse étant notamment dépendante de choix de réhabilitation et de politiques de transport.

Valoriser des masses considérables, du mieux possible techniquement, localement, et pour construire une infrastructure “importante” n'a rien de “vert” : c'est le résultat des structures et de leurs inerties. Le Fordisme peut sans doute être qualifié de régime “vert”, particulièrement au tournant des années 1970 et dans la région NPdC. Pourtant, sans la production incessante de nouveaux déchets, il aurait été impossible de valoriser autant ; sans la production de grandes infrastructures, les montagnes de déchets (terrils, crassiers, etc.) se seraient multipliées³⁹⁷. Il est pourtant évident, même en utilisant des critères souples³⁹⁸, que ni la production d'espace, ni les secteurs industriels fordistes n'étaient “verts³⁹⁹”. La période néolibérale est encore moins “verte” puisque les valorisations sont qualitativement plus pauvres, que l'accumulation de stocks n'a jamais cessé et que la propriété autophage de la production d'espace ne fait pas sensiblement baisser l'extraction. L'existence du *Cradle to Cradle* dans le BTP, souhait et slogan de l'économie circulaire, prouve qu'il est possible de produire des quantités prodigieuses de déchets, de les valoriser à des taux importants, tout en produisant un espace bâti toujours plus lourd et contraignant – qui rend caduques les propositions de recyclage⁴⁰⁰. Soit les critères qualitatifs, techniques, spatiaux et quantitatifs des valorisations sont insuffisants pour juger de la couleur de la valorisation, soit le “vert” de l'écologie conservacionniste a une autre fonction objective.

396. Sur une année, pour la Grande Couronne, le rapport dénombre plus d'un million de trajets allers-retours de camions et un total de 33,5 millions de km parcourus par les déchets du BTP : PREDEC, *op. cit.*, p. 99-100.

397. Cette image est fictive, car la cohérence du Fordisme en France veut que la consommation de masse aille de pair avec une production de masse, un secteur industriel puissant et des hausses de salaires, etc. Imaginer qu'il y aurait eu ces immenses industries et une très importante consommation d'électricité sans grandes infrastructures et sans un réseau routier qui s'épaissit n'est ici qu'une expérience de pensée.

398. Par exemple, du point de vue de la consommation de matières et des dégâts sur les sols, l'eau et l'air. Le principe même du haut-fourneau – réduction des oxydes, fusion des matières – conduit à des besoins énergétiques importants, assurés en majeure partie par des combustibles fossiles, ce qui se traduit par des émissions importantes de CO₂ (1,8 t CO₂ par tonne de fonte).

399. Pessis, Topçu et Bonneuil, *op. cit.*

400. F. Grosse et G. Mainguy, « Is recycling “part of the solution” ? The role of recycling in an expanding society and a world of finite resources », *S.A.P.I.E.N.S [Online]* 3.1 (2010) ; Grosse, *op. cit.*

Le *Problème*, exprimé en termes paramétriques, esquivé à la fois les questions de son origine et de sa finalité, mais aussi celle des bénéfiques objectifs pour les groupes qui le soutiennent⁴⁰¹. Pour qui, et pour quoi, toute cette matière circule-t-elle? Si le débat sur l'économie circulaire et la valorisation est, selon notre analyse, posé dans de mauvais termes, il n'est pas inutile pour tout le monde – sans quoi il disparaîtrait. Pouvoirs publics et patronat ont intérêt à imposer cette approche des déchets, donc le cadrage du *Problème*, et partant leur définition de ce qui est “vert”. D'abord, comme le recyclage à la fin du XIXe siècle⁴⁰², c'est un instrument pour réinscrire la question des déchets dans la rationalité économique des fabricants en quête de profits, qui consacre implicitement l'idée que toute réutilisation doit être marchande. Ensuite et surtout elle permet d'éviter d'autres thèmes plus embarrassants pour les pouvoirs publics – sur les choix politiques du libre-échange, de la démolition, des politiques de mobilité, etc. Si la “menace de voir le monde étouffé par les résidus” persiste malgré des milliards de tonnes réutilisés, c'est qu'elle n'était pas solidaire de la question de la valorisation, mais de structures de production et d'une pratique spatiale qui n'ont jamais été contestées par les partisans de l'économie circulaire. Toute bifurcation radicale de trajectoire métabolique, qui devra s'appuyer sur le bâti existant, doit commencer par penser ces problèmes-là.

401. Une étude sociologique, qui dépasse le cadre de ce chapitre, ferait la distinction entre gains symboliques et matériels selon le type d'institutions (*think tanks*, universités, bureaux d'études, patronats, médias, etc.).

402. Jarrige et Le Roux, *op. cit.*

Conclusions

Au-delà de quelques limites planétaires bien connues, le Capitalocène s'exprime concrètement dans l'accumulation de gigantesques stocks – que nous avons appréhendés comme des espaces produits. L'histoire environnementale des grandes infrastructures esquissée ici – à partir des carrières, des sols, des déchets, du ciment ou des reliefs – éclaire la dynamique de la production d'espace en France métropolitaine depuis 1945, et donne une chair historique tant à l'heuristique d'Henri Lefebvre qu'aux études d'écologie sociale, et une chair matérielle aux récits de l'AT et aux travaux de la TR. Depuis 1945, ces stocks sont en permanence produits, reproduits, réaménagés, stabilisés, réparés, entretenus, élargis, agrandis, approfondis, rigidifiés – des opérations réalisées à des cadences bien plus élevées qu'auparavant, dans une sphère toujours plus mécanisée et désencastrée. Cette production cumulative, qui semble inarrêtable, n'est pas allée de soi. Elle est le résultat d'immenses investissements (matériels, techniques, monétaires, cognitifs, organisationnels, etc.), d'un travail de prise en charge des contestations et d'un processus, matériel et idéologique, de naturalisation du bâti.

Apports méthodologiques

L'originalité de l'approche et de la méthodologie a porté ses fruits. L'unidisciplinarité est présente dès la formulation générale d'une question commune¹ – celle de l'Histoire Environnementale, l'économie polanyienne, ou la morphologie sociale² : quelle est l'inscription matérielle de la production d'espace, comment évolue-t-elle et que nous dit-elle des rapports sociaux institutionnalisés et de l'économie ? Répondre à cette question autorise à rentrer dans

1. Nous souscrivons totalement aux propos d'André Orléan : « je cherche à faire valoir que les sciences sociales, si elles sont actuellement morcelées en raison de leurs objets, de leurs méthodes ou de leurs traditions, n'en partagent pas moins toutes un même terrain, les faits sociaux, ce qui autorise à espérer qu'elles puissent également partager, si ce n'est une langue commune, du moins un cadre conceptuel de référence permettant l'inter-translation des langues disciplinaires. Autrement dit, la position unidisciplinaire repose sur la thèse de l'unité du règne social. » M. Benquet et R. Sobel, « Entretien avec André Orléan : Monnaie, valeur et capitalisme : « Il m'a fallu aller chercher hors du marxisme de quoi enrichir l'analyse marxiste » », *Revue Française de Socio-Économie* 23.2 (2019), p. 23.

2. La « morphologie sociale » a longtemps été un courant important des sciences humaines et sociales, défendu par Durkheim, Mauss, la revue *Année sociologique*, et Halbwachs. Durkheim proposait de diviser la sociologie en deux branches complémentaires pour l'explication sociologique : la morphologie sociale, qui étudie le substrat matériel de la société, et la physiologie sociale, qui s'intéresse à l'activité sociale, à la vie sociale elle-même. Les composantes de ce domaine comprennent : les apports de la géographie humaine, l'étendue spatiale de la société, les limites des territoires, le rapport au sol des sociétés, la concentration rural/urbain ; les formes des habitats, les voies de communication, ou les modalités d'usage des ressources naturelles. Voir : P. Steiner, *La sociologie de Durkheim*, Paris, La Découverte, 2005 ; Boudes, *op. cit.*

les débats propres à chacun des champs. Ce travail fournit, par exemple, simultanément une histoire des sciences et techniques de la construction d'infrastructures, une explication des dynamiques qui relient flux et stocks de matières et de la production d'espace capitaliste. Cette façon de raisonner figure déjà dans l'énonciation en termes de production d'espace – et non pas de stock, d'impacts de "l'économie sur la nature", de ressources naturelles³, ou de régulation sectorielle⁴. Ceci vient en partie du fait que dans l'acte de la production, matière et social sont nécessairement solidaires. Loin du réductionnisme de l'Économie Écologique, qui à la limite abstrait totalement les flux de pratiques sociales, comme de tout fétichisme de la matière, qui vient la plaquer sur un récit préconçu, notre recherche donne sens à l'évolution du métabolisme des grandes infrastructures en l'inscrivant dans des rapports sociaux. L'innovation méthodologique vaut pour chacun des champs : avec le métabolisme des grandes infrastructures, nous proposons un système de référence jamais envisagé par l'ES (au prix d'un assouplissement de l'exigence d'exhaustivité) ; le choix du chantier, toujours dédaigné par les récits de l'AT, offre un observatoire privilégié des pratiques techniques de production d'espace, qui sont richement documentées ; en proposant de penser la pratique spatiale des régimes d'accumulation, nous ouvrons un champ de recherche tout entier pour la TR.

Le choix d'une longue période et le cadre de l'institutionnalisme historique offre l'énorme avantage de quitter le ras du sol descriptif et d'expliquer quelques faits stylisés – au besoin en introduisant de nouveaux concepts. Si pour faciliter la lecture nous avons partiellement effacé les étapes de notre présentation, la tâche en amont a donc été triple : décrire des pratiques (comme le font les postmodernes ou la sociologie pragmatique), construire de nouveaux faits stylisés (qui ne sont pas immédiatement accessibles) et enfin les expliquer comme les effets de mécanismes non immédiatement accessibles dans un cadre théorique rigoureux⁵. Loin de nous contenter de décrire et révéler les énormes flux de granulat, terre, ciment ou déchets, ce qui soit dit en passant constitue une nouveauté en soi, nous les insérons dans des opérations que nous problématisons pour ensuite en fournir une intelligibilité. Plutôt que de simplement décrire et qualifier l'existence d'un extractivisme en France, nous montrons comment il a pu se maintenir. Plutôt que de simplement révéler les milliards de mètres cubes de terre engagés dans les travaux de terrassement, nous montrons comment ils ont été rendus possible et invisibilisés. Plutôt que de détailler toutes les instabilités des constructions, nous déplaçons comment elles sont prises en charge, et avec quels effets inattendus. Plutôt que de nous satisfaire de mettre en évidence l'entretien des routes, nous expliquons précisément comment elles ont été transformées. Plutôt que de mettre en lumière la valorisation d'un type de déchet pendant une certaine période pour produire des infrastructures, nous proposons de rendre compte des dynamiques de toutes les masses de déchets associées à la production d'espace depuis 1945. Cette méthode générale d'enquête peut être transposée à d'autres types de production d'espace, capitaliste ou non, sur d'autres périodes, d'autres échelles et d'autres lieux.

3. L'écart avec "l'économie des ressources naturelles" est difficile à mesurer tant il est abyssal.

4. Nous n'avons pas cherché à développer une analyse "méso" du BTP : T. Lamarche et al., « Saisir les processus méso Une approche régulationniste », *Économie appliquée* 1 (2021), p. 13-49.

5. Ceci est proche du "réalisme critique" de T. Lawson, *Economics and Reality. Economics As Social Theory*, London, Routledge, 1997.

Apports historiographiques

Examiner la production d'espace à partir de lieux variés (carrières, laboratoires, sols, espaces-déchets, chantiers) a pour vertu de contribuer, de façon imprévue, à d'autres débats historiographiques⁶. C'est là un effet collatéral de la méthode dialectique qui éclaire autant la production d'espace que l'objet avec lequel sa dynamique dialogue. En même temps qu'il prouve que la production d'espace est une co-production, le chapitre 1 renouvelle l'histoire de la construction et des carrières, offre de nouveaux exemples de connaissance désinhibitrice, montre que la notion d'extractivisme est opérante pour décrire des processus à l'œuvre dans le Nord Global, et interroge l'idée de planification écologique. Le chapitre 2 inaugure une histoire des terrassements en se glissant dans la sphère de la production de l'espace. Il établit un parallèle entre les immenses volumes de terre nécessaires pour satisfaire les géométries des infrastructures et les rationalisations développées pour optimiser leurs mouvements. Il propose une relecture de l'industrialisation au travers de petites innovations qui libèrent les mouvements dans l'espace du chantier. Le chapitre 3 examine à la fois la production d'espace depuis les sols et les savants qui les prennent en charge. Il rattache l'histoire du développement de certains savoirs et techniques aux exigences nouvelles, et insoutenables pour les milieux, de la production d'espace. Il met en évidence le glissement de l'exigence de stabilité et d'industrialisation vers le désencastrement de la production d'espace. Outre qu'il contribue au renouveau de l'histoire des sols, qui se restreint souvent au monde agricole, il jette un nouveau regard sur l'histoire du ciment et de ses liens avec les laboratoires. En rappelant que la production d'espace consiste bien souvent en une transformation d'un espace déjà produit, le chapitre 4 participe à l'histoire des routes. Alors que celle-ci se focalise sur la construction d'autoroutes sur la seconde moitié du XXe siècle, nous avons choisi comme étude de cas un événement dédaigné de l'historiographie, le programme des renforcements coordonnés. En analysant le rôle des idéologies et du cadrage des débats, et en situant l'étude de cas dans la dynamique du Fordisme, cette histoire offre une alternative féconde aux récits de l'adaptation mécanique du réseau aux véhicules. Le chapitre 5 renouvelle complètement les débats sur la valorisation des grandes masses de déchets à partir d'une lecture spatiale. Il prouve d'abord que des espaces-déchets totalement absents de la littérature (en particulier les laitiers sidérurgiques ou les cendres volantes) ont massivement contribué à produire l'espace. Il montre que la dynamique de la pratique spatiale des régimes d'accumulation est centrale dans l'émergence, la prise en charge et la disparition des problèmes de déchets. Ce faisant, il interroge la pertinence des termes du débat dominant sur la valorisation.

La thèse dans son ensemble dialogue avec les littératures dédiées aux infrastructures. Elle s'oppose de deux façons au récit de l'adaptation, quasi mécanique, qui domine dans l'historiographie : en rappelant que l'adaptation est en réalité un immense travail matériel, idéologique et cognitif ; en détaillant les dynamiques macroéconomiques qui conditionnent le besoin de certains espaces. Du fait de la qualité des sources, nous avons longuement étudié l'action de la seconde infrastructure – ici représentée par les laboratoires. Celle-ci intervient bien au-delà de sa mission de maintenance des stocks : dans la stabilisation de la production d'espace et des espaces produits ; dans le fait de légitimer des normes de construction – qui favorisent

6. Nous espérons que le lecteur tire d'autres enseignements importants, que ceux présentés ici, pour ses propres recherches.

le ciment ; dans l'établissement des inventaires de gisements ; dans la planification des flux ; dans l'alignement des intérêts des producteurs de déchets et d'infrastructures. La thèse révèle aussi des tensions entre l'ordinaire et l'extraordinaire dans la production d'espace – le fait que ce processus aux dimensions gigantesques soit si instable en est le principal symbole. Ceci transparaît au niveau des acteurs, des matières, des techniques et des pratiques. Si la production de grandes infrastructures est très nettement une affaire d'État⁷, soutenue par de grands groupes du BTP et un réseau technique efficace (la seconde infrastructure), de nombreux acteurs et objets moins connus y contribuent. Plus qu'à la hausse de la seule puissance des machines, l'industrialisation de la production d'espace doit autant à la mécanisation de l'extraction (concasseurs, dragueurs) qu'à l'entretien de bonnes pistes de chantier (niveleuses, décapeurs, moteur diesel), la possibilité de produire des plateformes imperméables, et donc de faire circuler des engins sur tous les sols en toutes saisons (pneumatiques), une rationalisation des techniques de construction et d'entretien (de chaussées). Ciment mis à part, les matières sont banales et de faible valeur : les déchets industriels sont valorisés à proximité ; le granulats est extrait par des PME, par des machines relativement simples ; les terres n'ont aucune valeur mais sont prises en charge par des grandes entreprises (capables d'investir dans de très coûteuses machines).

Un autre apport, commun à tous les chapitres, tient au rôle déterminant du poids des choses dans de nombreuses dynamiques métaboliques. D'abord, celui des véhicules : tant dans la sphère de la production (où les véhicules de chantiers doivent circuler en toutes circonstances) que dans l'utilisation de l'infrastructure (camions ou avions), il est nécessaire de produire un support qui résiste à l'agressivité d'engins pondéreux. Ensuite, celui de différents bâtis (remblai, terril, immeubles) qui est un facteur clé du développement de techniques de fondations qui ont pour effet de séparer toujours plus la production d'espace de son sol. Les infrastructures de la Grande Accélération sont bien plus lourdes et supportent des engins bien plus lourds qu'auparavant et ceci a une incidence majeure sur leur métabolisme. Enfin, le poids des flux de matières eux-mêmes, qui détermine largement leur empreinte spatiale. En effet, comme il est très coûteux de transporter des flux pondéreux et sans valeur, ceux-ci voyagent peu⁸ (surtout par la route). Les terres restent majoritairement sur les chantiers (ou à proximité immédiate, avec une distance qui ne dépasse jamais 10 km) ; le transport du granulats dépasse rarement 50 km par la route ; le transport de ciment, matière pourtant bien plus chère, ne dépasse pas les 250 km ; la plupart des déchets restent dans un rayon de quelques kilomètres⁹. La spatialité des flux de matières internes à l'économie nationale, négligée par l'Écologie Sociale, est particulièrement déterminante dans toutes les dynamiques mises en évidence. Cette contrainte s'observe dans les différents chapitres : 11 000 à 17 000 camions utilisés chaque jour pour transporter le granulats ; les trains qui amènent les laitiers de Lorraine dans toute la France ; le besoin de préparer des zones de stockage le long des

7. Les acteurs le mentionnent depuis longtemps : « On ne saurait oublier que c'est seulement à l'aide des subventions considérables, accordées successivement par l'État, sous forme de travaux exécutés ou de paiements en argent, que les principales artères qui sillonnent la France ont pu se construire » : Ruelle, *op. cit.*, p. 7 ; voir aussi Théret, « À propos du rôle de l'État dans la mise en œuvre des infrastructures », *op. cit.*

8. Du fait du besoin de production industrielle d'espaces et de machines plus puissantes, toutes ces distances ont augmenté depuis le tournant du XXe siècle : l'empreinte spatiale des flux nécessaires à la production d'espace s'est donc accrue.

9. Nous pouvons ajouter que le délai de transport du béton prêt-à-l'emploi, béton majoritaire aujourd'hui, ne doit pas dépasser 1h30 – de sorte que son empreinte spatiale est également limitée.

autoroutes pour satisfaire les cadences ; les difficiles transports de terre lors des terrassements ; la mise en place de chaînes d'approvisionnement de matières par la Seine ; le fait que 12 % des tonnages transportés en IDF sont des déchets du BTP. Les pesanteurs sont associées : les transports de matières lourdes, exigent des véhicules lourds et puissants et un bâti lourd et rigide. Ces mouvements, qui se font toujours plus par la route, détruisent les chaussées (chap. 4) dont la réparation et l'entretien exigent de nouveaux flux. C'est en partie pour supporter les transports de terre sur les chantiers que des flux de liants hydrauliques et de ciment apparaissent dans le métabolisme, et c'est parce que les routes locales sont détruites par ces transports que des pistes de chantier sont construites. Le poids appelle le poids dans un cercle vicieux : les déchets des routes augmentent avec le nombre de camions, qui augmente avec la quantité de déchets des routes.

Nous avons montré, après d'autres, que les questions pratiques des grandes infrastructures, comme elles engagent d'importants pouvoirs, doivent être prises très au sérieux. Elles sont à l'origine de multiples contributions cognitives : de la division entre *infra* et *super* (structure), qui se rapporte à l'origine à celle qui sépare public et privé, aux calculs d'usure et d'entretien, ou aux évaluations du réseau comme actif, la production d'infrastructure est un moteur des développements de nombreuses théories économiques (mais aussi mathématiques ou géotechniques). Le transport de grosses masses de faible valeur participe à l'émergence de la logistique comme rationalité qui organise l'espace¹⁰. Le développement marqué de la logistique des flux est illustré par l'intérêt que lui portent des savants, qui encouragent un proto-taylorisme pour optimiser les mouvements de terre, et la seconde infrastructure, soucieuse de l'approvisionnement des chantiers, mais aussi les rapports prospectifs qui s'inquiètent dès les années 1960 du transport de granulat vers la région IDF (chap. 1). La hausse de la circulation des flux de marchandises nécessite des infrastructures adéquates (routes épaisses ; ports et canaux assez profonds) dont la production exige des flux de matières qui constituent déjà un problème logistique. La logistique des flux s'avère être à la fois une pratique spatiale de circulation et une logique de calcul – rationaliser les mouvements des corps et des objets pour être efficace.

Un dernier apport est conceptuel, et concerne la définition de la crise de l'infrastructure (et par extension de tout objet matériel). Loin de la penser comme une chose purement humaine, purement matérielle ou technique, ou comme un événement non-humain imprévisible, nous prouvons tout l'intérêt pour l'analyse à la concevoir comme un événement à la fois idéal et matériel. L'objet entre en crise parce qu'il y a à la fois une rupture matérielle et parce que des groupes affectés parviennent à imposer une transformation suffisamment importante pour que sa fonction objective soit différente avant et après la crise. Ainsi : un pont qui s'effondre est une rupture matérielle. Mais s'il est reconstruit à l'identique et que cela ne provoque aucun changement social, il n'y a pas de crise. En revanche, s'il est agrandi ou s'il n'est pas reconstruit, alors il y a eu une crise. Si toute une infrastructure est modifiée, par exemple un port radicalement agrandi, alors la crise est plus profonde. L'intensité est proportionnelle aux effets sociaux – dans le cas de la *bétonite*, les effets sont planétaires et l'affect commun est engagé (ou presque : les pays dont le bâti est en terre n'ont peut-être pas été bouleversés). Avec notre acception, une crise n'est plus une simple transformation des relations sociales ni une

10. Taylor a également affaire à un problème spatial, dans la manufacture : Cowen, *op. cit.*, p. 105-110 ; C. Chua et al., « Introduction : Turbulent Circulation : Building a Critical Engagement with Logistics », *Environment and Planning D : Society and Space* 36.4 (2018), p. 617-629.

intervention sans origine du non-humain dans les affaires humaines. Elle est nécessairement politique en ce sens qu'un choix a été fait sur le devenir de l'infrastructure, qui embarque nécessairement des intérêts. Si l'espace produit est acteur des transformations, il n'est jamais actant puisqu'il n'a aucun pouvoir "en soi" – ses prétendues exigences sont celles de groupes sociaux qui parviennent à transformer en universel leur intérêt spécifique. C'est une leçon importante que nous retirons de la crise de 1963 (chap. 4). D'abord, si les quelques routes nationales abîmées avaient été reconstruites à l'identique, et non pas 20 000 km de RN, nous n'aurions pu la qualifier de crise. Ensuite, ce n'est pas une crise fortuite causée par le froid ou les sols gelés (du non-humain par excellence) – mais par les poids lourds. Au vu des effets dans le temps, toutes les RN élargies et épaissies, ce moment est une crise de tout le réseau. L'ampleur du bouleversement n'est pas sans cause : depuis des années le patronat exigeait une certaine politique routière qui passait par un nouveau réseau routier. La crise s'inscrit donc dans les rapports sociaux d'une époque – elle aurait eu des conséquences totalement différentes dix ans plus tôt ou plus tard. Les partisans d'un nouveau réseau s'appuient sur la nouvelle politique autoroutière pour voir enfin leurs demandes satisfaites. La crise n'a ni une origine ni une issue neutre. *Ex post* on constate que la production d'une infrastructure nationale autoroutière et de grands ports a grandement bénéficié à la seconde moitié du Fordisme et jeté quelques bases utiles au Néolibéralisme.

Sur la pratique spatiale des régimes

“La production d'espace n'a pas à elle seule permis la survie du capitalisme. Elle ne se sépare pas de l'extension du capitalisme à l'espace préexistant. L'ensemble de ces faits – la pratique spatiale – a permis cette survie¹¹.”

Ce travail a établi des liens entre la production d'espace et le Capitalocène, et analysé les mécanismes clés de la période de Grande Accélération dans les années 1960 et 1970. Sans que ce soit sa finalité, puisque certains chapitres traitent d'aspects plus techniques qui ont une autonomie relative, ce travail élucide partiellement l'idée de production d'espace capitaliste de Lefebvre. Sur le temps long, celle-ci connaît une rupture avec le Fordisme, quand elle s'industrialise et se désencastre en réponse aux nouvelles exigences sociales. Un des enjeux de la thèse a consisté à démontrer la pertinence, tout en lui donnant progressivement une chair, du concept de *pratique spatiale d'un régime d'accumulation*. Si un travail conceptuel et théorique ultérieur déploiera notre argument, nous pouvons déjà fournir, à partir de notre enquête, quelques éléments qui doivent intégrer sa définition.

Rappelons d'abord que la pratique spatiale du régime d'accumulation est distincte de celle de la société, ou d'un régime politique particulier. De plus, elle va bien au-delà de la production capitaliste de l'espace. Celle-ci s'accentue au sens où les mécanismes qui président aux différentes opérations du chantier sont toujours plus rattachés aux logiques de profit des grands groupes. Sur la longue durée, nous avons souligné une concentration dans chaque univers : très forte pour le ciment ; moyenne pour les terrassements et le granulat. Les multinationales tendent à maîtriser toute la chaîne de production d'espace – jusqu'à la

11. Lefebvre, *La production de l'espace*, op. cit., p. 399.

concession¹². Un exemple en France : *Heidelberg Cement Group* possède une centaine de carrières de granulats (entreprise *GSM*), dix cimenteries (entreprise *Ciments Calcia*) et les carrières (calcaire et argile) associées, des camions citerne/benne/toupies (entreprise *Tratel*), 168 usines de béton prêt à l'emploi (entreprise *Unibéton*), des usines à chaux (entreprise *Socli*), etc. Ces faits sont importants, tout comme la capture de la solidité du bâti mondial par un oligopole de cimentiers, mais sans rapport nécessaire avec la pratique spatiale qui se situe au niveau macro. Rien ne garantit qu'une production de grandes infrastructures soit une bonne chose pour le régime dans son ensemble – certains projets ne sont pas construits¹³, quand d'autres sont abandonnés après leur construction sans que cela n'affecte la dynamique générale. De la nécessité de profit pour quelques groupes à l'échelle micro, si importants soient-ils, au macro où se situe la logique du capital, il y a plus qu'un simple saut quantitatif.

Définir la pratique spatiale exige un long travail d'identification des espaces produits qui servent crucialement au régime – pensé comme ensemble de compromis sociaux institutionnalisés. Une infrastructure ou un espace particulier n'a aucune raison d'être bon par essence pour un régime. Si les grands barrages d'EDF de la IV^e République et l'aménagement du Rhône, semblent compter dans la pratique spatiale du début de la période fordiste, il n'est pas évident que les barrages du début des années 1980 soient déterminants dans la pratique du Néolibéralisme. De même, il n'est pas clair que des productions aussi importantes que les LGV soient des piliers du capitalisme néolibéral. Si toutes les grandes infrastructures décrites ici favorisent l'extension de la sphère marchande en soutenant la circulation de marchandises, mais aussi le tourisme ou la consommation de masse, certaines sont plus importantes que d'autres¹⁴. De façon très lapidaire, nous avons identifié : les espaces industriels (dont le charbon et la sidérurgie) et les réseaux routiers pour le Fordisme (réduit aux normes de production et consommation de masse, et à l'automobilisme) ; les Grands Ports Maritimes et zones logistiques pour le Néolibéralisme (réduit à la financiarisation et mondialisation). L'énergie des régimes, loin de se réduire à des joules ou du CO₂, se pense aussi par une pratique spatiale, souvent cumulative : barrages, centrales thermiques, raffineries, pipelines, centrales nucléaires, etc. Loin de coller des séries monétaires avec des séries biophysiques, et d'expliquer les corrélations par un modèle *ad hoc*, la grande force de ce concept consiste à les condenser dans une activité historique repérable dans l'espace. Nous avons montré que la pratique spatiale du Fordisme, dont la composante nationale est forte, crée les conditions de sa crise et l'émergence du Néolibéralisme, dont la composante internationale domine. La pratique spatiale doit inclure, en plus de la construction de nouveaux espaces, la transformation des espaces produits par d'anciens régimes – d'où une dépendance au sentier des pratiques spatiales antérieures. Ainsi, la pratique du Fordisme est marquée par la construction de nouvelles grandes infrastructures, là où celle du Néolibéralisme se distingue par l'entretien, l'extension et la démolition des espaces préalablement produits.

12. Le cas de *Vinci*, dont l'histoire est décrite avec des louanges à n'en plus finir par Barjot, est prototypique. Ce groupe possède plusieurs multinationales dont *Solétanche* (fondations profondes), *GTM* (terrassements) et *Eurovia* (routes et carrières, parmi les leaders du granulats marin) qui a racheté *Jean Lefebvre*, spécialiste des couches de roulement, et *Cochery*, l'entreprise à la source de bien des innovations de valorisation du laitier. D. Barjot, éd., *La trace des bâtisseurs : histoire du groupe Vinci*, Rueil-Malmaison, Vinci, 2003.

13. La non-construction de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, ou du complexe *Europa City*, n'a pas fondamentalement affecté le capitalisme néolibéral.

14. Il est sans doute possible de les détecter en imaginant un scénario contrefactuel : aurait-on eu le même régime sans ces infrastructures ?

L'enquête nous montre qu'il n'est pas satisfaisant de restreindre la pratique spatiale aux seuls chantiers. Les dispositifs institutionnels qui permettent l'extractivisme et (dans une moindre mesure) la valorisation, en particulier ceux qui favorisent la désinhibition et la résolution temporaire de conflits inhérents aux espaces associés, font partie de la pratique spatiale. La législation des carrières éclaire la rupture entre les régimes : celle du Fordisme est très libérale, alors que celle du Néolibéralisme doit être toujours plus contraignante. Les premières lois sur ces espaces extractifs (1970-1979) n'ont pas suffi à totalement stabiliser l'extractivisme – la loi de 1993 a été plus efficace, mais reste un outil de régulation des conflits nécessairement temporaire (chap. 1). Parmi les dispositifs, pour les carrières comme pour les terrassements, la pratique spatiale du Néolibéralisme inclut la production active de paysages apaisants ainsi qu'un processus (idéel et matériel) de valorisation d'espaces. Elle paraît être contrainte, en contraste avec celle du Fordisme, de développer des outils plus nombreux, y compris la planification territoriale, pour avoir prise sur un nombre bien plus important et varié d'espaces (carrières, espaces-déchets). Plus qu'une recherche de réduction des flux de matières, l'inflation législative pour les carrières, la multiplication des politiques de valorisation pour les déchets, et la production croissante d'outils de gestion du métabolisme qui dépasse la simple institutionnalisation de l'environnement par l'État néolibéral, apparaissent comme une nécessité de sa pratique spatiale. Du fait de la part importante de nouvelles constructions, et de la recherche de production industrielle, la pratique spatiale du Fordisme est grandement facilitée par la seconde infrastructure, là où celle du Néolibéralisme semble suivre les routines techniques déjà établies (en les amendant suivant les politiques environnementalistes).

Ces premières caractéristiques demandent à être complétées par d'autres travaux empiriques, sur d'autres pays et en intégrant davantage d'espaces produits (agricoles, industriels, énergétiques) ainsi que les dynamiques urbaines. En particulier, des outils doivent être développés pour ouvrir la boîte noire que représente sa composante internationale. Si notre travail rattache principalement la pratique spatiale à la forme de l'État et l'insertion internationale, des liens doivent montrer comment elle est reliée à ce que la TR appelle le "mode de régulation"¹⁵. Intégrée à l'architecture régulationniste¹⁶, il nous semble que cette proposition permettrait d'utilement contribuer à l'explication de la diversité des capitalismes et à l'intelligibilité de nombreuses crises écologiques et conflits environnementaux.

“Si vous voulez lutter” – faire échouer le capital fixe

Contrairement à un nombre important de travaux en économie, la thèse se veut non-normative, et encore moins prescriptive, au sens où elle n'a pas une origine ni une vocation politique – une conception des rapports entre savoirs et politiques commune à Foucault¹⁷,

15. Celui-ci se définit comme la conjonction d'un certain nombre de formes institutionnelles dont la forme-État, l'insertion internationale, la relation salariale, la concurrence et la forme monétaire.

16. Ce concept constitue une alternative au "rapport social à l'environnement" : L. Elie et al., « Approche régulationniste de la diversité des dispositifs institutionnels environnementaux des pays de l'OCDE », *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs [en ligne]* 12 (2012) ; L. Cahen-Fourot, « Contemporary capitalism and their social relation to the environment », *Ecological Economics* 172 (2020), p. 106634.

17. Dans son cours du 11 janvier 1978 au collège de France : "le discours à l'impératif qui, dans l'ordre de la théorie, consiste à dire « aimez ceci, détestez cela, ceci est bien, ceci est mal, soyez pour ceci, méfiez-vous de cela », tout ça me paraît ne pas être autre chose, actuellement en tout cas, qu'un discours esthétique et

Bourdieu¹⁸ et Weber¹⁹. Ce travail peut pourtant, de façon très modeste au vu de la complexité du sujet, alimenter des réflexions politiques, en donnant quelques indications tactiques ou en éclairant quelques verrous – “si vous voulez lutter²⁰”.

Rappelons quelques faits : la production contemporaine, en cours ou projetée, de grandes infrastructures persiste²¹, ainsi que l’extractivisme, et ce alors que l’accumulation de ces stocks conduit, presque mécaniquement, à accentuer les crises écologiques. Sans même examiner les pratiques destructrices que les infrastructures soutiennent, les recherches récentes ont démontré que leur reproduction (entretien et maintenance) ainsi que les colossaux flux de déchets qu’elles vont générer, constituent un immense problème, même en imaginant des scénarios de valorisation spectaculaire, pour respecter les accords climatiques²². En ce sens, notre thèse éclaire un débat qui anime certains économistes sur les actifs qui vont perdre toute valeur - dénommés actifs échoués (*stranded assets*) – en cas de politique climatique qui respecte les accords de Paris. Ce “capital polluant” inclut les centrales énergétiques fossiles et les véhicules émetteurs de CO₂, mais aussi les actifs qui induisent indirectement des émissions, comme des routes ou des formes urbaines qui contraignent les possibilités d’atté-

qui ne peut trouver son fondement que dans des choix d’ordre esthétique. Quant au discours impératif qui consiste à dire « battez-vous contre ceci et de telle et telle manière », eh bien il me semble que c’est là un discours bien léger dès lors qu’il est tenu à partir d’une institution quelconque d’enseignement ou même tout simplement sur une feuille de papier. De toute façon, la dimension de ce qu’il y a à faire ne peut apparaître, me semble-t-il, qu’à l’intérieur d’un champ de forces réelles, c’est-à-dire un champ de forces que jamais un sujet parlant ne peut créer seul et à partir de sa parole ; c’est un champ de forces qu’on ne peut en aucune manière contrôler ni faire valoir à l’intérieur de ce discours.” M. Foucault, *Sécurité, Territoire, Population. Cours au Collège de France (1977-1978)*, EHESS, Hautes études, Paris, Gallimard / Seuil, 2004, p. 5.

18. Bourdieu revient sur cette tension propre au chercheur en sciences sociales : “la principale source de malentendu réside dans le fait que, d’ordinaire, on ne parle presque jamais du monde social pour dire ce qu’il est et presque toujours pour dire ce qu’il devrait être. Le discours sur le monde social est presque toujours performatif : il enferme des souhaits, des exhortations, des reproches, des ordres, etc. Il s’ensuit que le discours du sociologue, bien qu’il s’efforce d’être constatif, a toutes les chances d’être reçu comme performatif” : P. Bourdieu, *Questions de sociologie*, Paris, Les Éditions de Minuit, 2009, p. 40.

19. Le propre de l’activité scientifique est d’éviter de porter un jugement éthique sur l’objet de l’analyse. “Une science empirique ne saurait enseigner à qui que ce soit ce qu’il *doit* faire, mais seulement ce qu’il *peut* et – le cas échéant – ce qu’il *veut* faire. Il est exact que dans le domaine de notre discipline les conceptions personnelles du monde interviennent habituellement sans arrêt dans l’argumentation scientifique et qu’elles la troublent sans cesse (...). Cependant, il y a loin de cet aveu de faiblesse humaine à la croyance en une science “éthique” de l’économie politique qui aurait à tirer de sa matière des idéaux ou encore des normes concrètes par l’application d’impératifs éthiques généraux.” M. Weber, *Essais sur la théorie de la science*, Paris, Pocket, 1992, p. 125.

20. Foucault poursuit, dans ce même cours : “L’impératif, par conséquent, qui sous-tend l’analyse théorique qu’on est en train d’essayer de faire – puisqu’il faut bien qu’il y en ait un –, je voudrais qu’il soit simplement un impératif conditionnel du genre de celui-ci : si vous voulez lutter, voici quelques points clés, voici quelques lignes de force, voici quelques verrous et quelques blocages. Autrement dit, je voudrais que ces impératifs ne soient rien d’autre que des indicateurs tactiques.” Foucault, *op. cit.*, p. 5.

21. Citons pêle-mêle : Grand Paris Express, nouvelles LGV, nouveaux réacteurs nucléaires, terminal méthanier, etc.

22. S. Pauliuk et D. B. Müller, « The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation », *Global Environmental Change* 24 (2014), p. 132-142 ; C. Lin, G. Liu et D. B. Müller, « Characterizing the role of built environment stocks in human development and emission growth », *Resources, Conservation and Recycling* 123 (2017), p. 67-72 ; au niveau mondial, l’entretien et l’expansion du stock représentent un tiers de l’énergie totale utilisée (l’énergie restante se rattache à l’utilisation des stocks) : Krausmann, Wiedenhofer et Haberl, *op. cit.*

nuation du fait de leur influence sur la demande d'énergie. Autrement dit, une bonne part des infrastructures examinées ici peut être labellisé comme actifs échoués²³.

Coupés des dynamiques historiques, ces travaux prônent implicitement une fuite en avant. Le fait qu'ils se contentent d'une transition incrémentale du brun vers le vert, le remplacement rapide du *polluting capital* par du *clean capital*, sans rien dire des structures plus fondamentales, est très problématique²⁴. La nécessité logique de décroître les stocks constitue pourtant une sérieuse mise en garde contre les constructions d'infrastructures "vertes" qu'ils appellent de leurs vœux. Tant que le régime est à ce point inséré dans l'économie internationale, *a fortiori* tant que le choix politique du libre-échange est inchangé, l'entretien des espaces logistiques reste indispensable²⁵ ; tant que le transport de marchandises par la route et l'auto-mobilité sont promus, le stock de routes reste stable ou augmente. Conserver les normes de consommation actuelles, même avec d'hypothétiques véhicules peu émetteurs, accentuerait la composante internationale, potentiellement destructrice, de la pratique spatiale. La preuve de la faiblesse de cette perspective vient d'une autre solution, aussi logique que catastrophique, au problème des stocks : la *bétonite*, qui fait échouer tous les actifs en quelques mois. Non seulement ceux-ci ne doivent plus être entretenus, mais cet effondrement met fin à la mondialisation, à la mobilité autoroutière, ou au tourisme de masse. Pourtant, une fois le vaccin trouvé, les infrastructures clés sont toutes immédiatement reconstituées dans le roman. Comme avec le Covid-19, qui aurait été un répit d'un an au réchauffement climatique, tout reprend de plus belle puisque les structures sociales fondamentales restent inchangées. Même planifiée, une gigantesque et rapide démolition des stocks aurait le double défaut d'engendrer d'immenses flux de déchets, qui seraient sans exutoire, et de dépendre de grands groupes pour leur gestion industrielle (tant pour le travail de démolition que pour les filières de transport et valorisation). En dernière analyse, le problème n'est donc pas une simple question de stocks, ou de techniques, mais de structures sociales. A cet égard, la pratique spatiale des régimes d'accumulation met en garde sur les difficultés. Le bâti n'est pas un objet neutre : il peut par exemple soutenir certains pouvoirs (y compris celui de l'État), mais aussi des normes de consommation et de mobilité (ou de tourisme) qui sont incorporées dans les habitus – la pratique spatiale renforce le "mode de vie du régime"²⁶. Outre les rapports de forces très inégaux, puisque de puissants groupes sont au cœur de la pratique spatiale des régimes depuis l'émergence du capitalisme, il faut composer avec un triple héritage pour se

23. C. Guivarch et S. Hallegatte, « Existing infrastructure and the 2°C target », *Climatic Change* 109.3 (2011), p. 801-805 ; J. Rozenberg, A. Vogt-Schilb et S. Hallegatte, « Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital », *Journal of Environmental Economics and Management* 100 (2020), p. 102183 ; V. Fisch-Romito et al., « Systematic map of the literature on carbon lock-in induced by long-lived capital », *Environmental Research Letters* 16.5 (2021), p. 053004.

24. Magalhães, « The green investment paradigm : Another headlong rush », *op. cit.*

25. Sur les grands ports et le besoin de décroissance : B. Nogué-Algueró, « Growth in the docks : ports, metabolic flows and socio-environmental impacts », *Sustainability Science* 15.1 (2020), p. 11-30.

26. En ce sens, il existe une logique autorenforçante : le mode de vie impérial du régime soutient la production d'espace qui soutient le mode de vie impérial. Sur ce concept, et le verrou qu'il constitue, voir : U. Brand et M. Wissen, « Global Environmental Politics and the Imperial Mode of Living : Articulations of State-Capital Relations in the Multiple Crisis », *Globalizations* 9.4 (2012), p. 547-560 ; U. Brand et M. Wissen, « What Kind of Great Transformation ? The Imperial Mode of Living as a Major Obstacle to Sustainability Politics », *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 27.3 (2018), p. 287-292 ; N. Magalhães, « Un mode de vie impérial », dans : *Le Nouveau Monde. Tableau de la France néolibérale*, sous la dir. d'A. Burlaud, A. Popelard et G. Rzepski, Editions Amsterdam, 2021, p. 257-267.

défaire de ces stocks : les milliards de tonnes des espaces produits ; la rationalité des institutions soutenant la pratique spatiale depuis des décennies (l'espace conçu des planificateurs, selon Lefebvre) ; les normes de consommations inscrites dans les habitus des agents²⁷.

Si des pistes de réflexion aussi évidentes que triviales peuvent se déduire de ce travail – interroger la norme autoroutière, le libre-échange et la circulation perpétuelle des marchandises – un point de départ utile, car plus immédiatement saisissable, concerne la dimension démocratique. Outre que la pratique spatiale paraît capturée depuis longtemps par un petit groupe d'acteurs, un point nodal que cette thèse a mis en lumière, à la fois solide verrou²⁸ (matériel et idéologique), et par là même un levier à tout changement social, touche à la raison d'être des grandes infrastructures, donc aux "besoins" collectifs qu'elles sont censées satisfaire. La naturalisation, notamment par les pouvoirs publics, de nouvelles constructions constitue, à cet égard, un puissant moyen de dépolitisation. Sur la longue durée, que le pouvoir soit libéral, social-démocrate ou conservateur, le "besoin" de grandes infrastructures fait souvent consensus et seuls quelques débats annexes semblent redevables d'un combat politique (financement, centralisation, etc.). Le capital fixe renforce ce verrou : les impératifs de valorisation du capital routier et d'amortissement des machines des terrassiers et carriers soutiennent le "besoin" de continuité de grands travaux. Ce cadrage idéologique (par "capitalisation") des débats, qui est redoutable puisqu'à la limite les "besoins" deviennent inhérents aux espaces produits, soulève une question politique fondamentale : jusqu'à quand va-t-on réparer et entretenir le capital, alors même que c'est un actif échoué ? En ce sens, il est indispensable pour l'analyse de ne pas considérer une infrastructure comme un monolithe qui aurait une fonction univoque (il n'y a qu'à penser l'écart entre une petite éolienne et une centrale nucléaire). Par conséquent, aucune n'est bonne en soi, aucune ne va dans l'intérêt général. Il est essentiel de les différencier selon les pratiques sociales qu'elles soutiennent, les services qu'elles fournissent²⁹, et selon les classes sociales qui en bénéficient³⁰. Décider d'un autre sort des infrastructures – lesquelles entretenir, abandonner, réhabiliter – implique un conflit avec les groupes sociaux qui ont un intérêt objectif à leur maintien et reproduction. La politisation de la pratique spatiale par les "besoins", transformés en objet de lutte, semble un exercice important, voire nécessaire, pour imaginer des alternatives.

Il n'y a pas de fatalité (*bétonite* ou fuite en avant écomoderniste). Des pratiques spatiales alternatives ont toujours existé, et existent encore, à côté de celle du régime d'accumulation. Les stocks sont écrasants, ou oppressants, parce que solidaires de certains choix politiques – et une configuration du capitalisme dans laquelle ils sont au cœur de flux de matières considérables (figure 2). Une pratique spatiale qui satisferait des besoins démocratiquement définis, et sur laquelle les citoyens auraient la plus grande prise possible, réduirait sensiblement sa composante internationale et un nombre important de stocks et de flux de matières. Davan-

27. Ceci rejoint l'analyse de Mattioli et al., *op. cit.*

28. D'autres verrous ont été identifiés : les discours lénifiants de *greenwashing*, les arnaques comptables sur la valorisation, le rôle des réaménagements, les outils de désinhibition, l'incorporation de certaines demandes sociales pour légitimer les constructions, etc.

29. Une réflexion entamée par mes co-auteurs, qui négligent toutefois le rôle des idéologies et des rapports de forces : H. Haberl et al., « The Material Stock-Flow-Service Nexus : A New Approach for Tackling the Decoupling Conundrum », *Sustainability* 9.7 (2017), p. 1049 ; H. Haberl et al., « Stocks, flows, services and practices : Nexus approaches to sustainable social metabolism », *Ecological Economics* 182 (2021), p. 106949.

30. Parfois la chose est facile à établir : il est évident que les golfs, ports de plaisance, les installations de réparation de méga-yachts ou les stations de sport d'hiver sont destinés à la bourgeoise.

tage de réhabilitation d'immeubles, une circulation de poids lourds bien moins importante ou la fermeture d'aéroports ou de ports ne supprimerait pas (matériellement) ces stocks, mais limiterait drastiquement les flux associés. En outre, comme la désignation symbolique d'un espace peut changer très rapidement, puisque le statut des terrils (un milliard de tonnes) passe presque du jour au lendemain d'espace-déchet à espace-patrimoine, si un groupe social était assez puissant pour détourner une grande infrastructure de sa fonction première, par exemple en lieu culturel ou récréatif, alors cet espace perdrait sa qualité d'infrastructure et pourrait s'insérer dans une autre pratique spatiale³¹. La *bétonite* prend là un autre sens que le pur effondrement : l'infrastructure est échouée par appropriation collective, sans l'aide des grands Corps d'ingénieurs ou des multinationales³². Une *bétonite* démocratiquement décidée et organisée pourrait aider à rendre le monde un peu moins pesant.

31. Ce type de conversion ou détournement est fréquent, et peut être l'objet de stratégies marchandes néolibérales – comme pour les friches industrielles. C'est aussi ce qui est arrivé au périphérique de Antananarivo, inséré dans de nouveaux rapports sociaux après sa construction : C. Fournet-Guérin, « La rocade et la ville : contournement et détournement d'usages à Antananarivo (Madagascar) », *Métropolitiques* (2014).

32. Les alternatives doivent aussi se demander si les techniques de (dé)construction offrent une possibilité de contrôle démocratique ou si elles accentuent la capture par des groupes spécialisés.

Bibliographie

- Aggeri, F., « Les régimes de gouvernementalité dans le domaine de l'environnement », dans : *Gouvernement, organisation et gestion : l'héritage de Michel Foucault*, sous la dir. d'A. Hatchuel et al., Presses Universitaires de Laval, Sainte-Foy (Québec), 2005, p. 431-464.
- Aglietta, M., *Crises et régulation du capitalisme. L'expérience des Etats-Unis*, Paris, Calmann-Lévy, 1976.
- Aglietta, M. et A. Orléan, *La violence de la monnaie*, 2ème édition, économie en liberté, Paris, PUF, 1984.
- Albertini, J.-B., « De la DATAR à la nouvelle DIACT : la place des questions économiques dans la politique d'aménagement du territoire », *Revue française d'administration publique* 119.3 (2006), p. 415-426.
- Alexandre, J. et J.-L. Sebilleau, *Le laitier de haut-fourneau : élaboration, traitements, propriétés, emplois*, Paris, CTPL édition, 1988.
- Alix, Y., N. Mat et J. Cerceau, éd., *Economie circulaire et écosystèmes portuaires*, Les océanides, Cormelles-le-Royal, Editions EMS, 2015.
- Allégret, R., *Cours de projet de tracé et de terrassements*, 2ème édition, Paris, Eyrolles, 1963.
- Allix, A., « L'action de l'homme sur le relief : affaissements et comblements dans les régions minées d'Angleterre », *Annales de Géographie* 32.180 (1923), p. 564-566.
- Allorant, P., « Les territoires d'un ingénieur des ponts et chaussées au XIX e siècle », *Revue historique de droit français et étranger (1922-)* 87.1 (2009), p. 59-85.
- Alonzo, E., « L'autoroute urbaine dans les années 60 : entre rejet et fascination », dans : *La Métropole des infrastructures*, sous la dir. de C. Prelorenzo et D. Rouillard, Picard, 2009, p. 27-40.
- *L'architecture de la voie : histoire et théories*, Champs-sur-Marne ; Marseille, Parenthèses, 2018.
- Alstine, J. V. et E. Neumayer, « The Environmental Kuznets Curve », *Handbook on Trade and the Environment* (2008).
- Amable, B. et S. Palombarini, *L'économie politique n'est pas une science morale*, Cours et travaux, Paris, Raisons d'agir, 2005.
- Ammon, F. R., *Bulldozer : demolition and clearance of the postwar landscape*, New Haven ; London, Yale University Press, 2016.
- Antoni, V. et M. Kraszewski, « L'état des sols en France : l'artificialisation et les autres sources de dégradation », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 91.3 (2018), p. 13-18.
- Appadurai, A., *The social life of things : commodities in cultural perspective*, Cambridge, Cambridge University Press, 2013.

- Arabi, N. et L. Berredjem, « Valorisation des déchets de démolition comme granulats pour bétons », *Déchets, sciences et techniques* 60 (2011), p. 25-30.
- Arbellot, G., « La grande mutation des routes de France au milieu du XVIIIe siècle », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 3 (1973), p. 765-791.
- Armiero, M., *Wasteocene : stories from the global dump*, Cambridge Elements in environmental humanities, Cambridge, Cambridge University Press, 2021.
- Arnsperger, C. et D. Bourg, « Vers une économie authentiquement circulaire : Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité », *Revue de l'OFCE* 145.1 (2016), p. 91-125.
- Arquié, G., éd., *Granulats*, Association amicale des ingénieurs anciens élèves de l'ENPC, 1980.
- Arrambide, J. et M. Duriez, *Agrégats, liants et bétons hydrauliques. Aciers et métaux usuels*, Paris, Editions du Moniteur des Travaux Publics, 1958.
- Audier, S., *L'âge productiviste. Hégémonie prométhéenne, brèches et alternatives écologiques*, Sciences humaines, Paris, La Découverte, 2019.
- Augiseau, V., « Utiliser les ressources secondaires de matériaux de construction : contraintes et pistes d'action pour des politiques territoriales », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 26-41.
- Avenier, C., « Béton : les mots et les choses », dans : *Sacré béton ! Fabrique et légende d'un matériau du futur*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Lyon, Libel, 2015, p. 14-21.
- Babonaux, Y., *Le lit de la Loire, étude d'Hydrodynamique fluviale*, Mémoires de la Section de Géographie 5, Paris, Publication du Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, 1970.
- Bahers, J.-B., M. Durand et H. Beraud, « Quelle territorialité pour l'économie circulaire ? Interprétation des typologies de proximité dans la gestion des déchets », *Flux* 109-110.3 (2017), p. 129-141.
- Bahers, J.-B., A. Tanguy et S. Pincetl, « Metabolic relationships between cities and hinterland : a political-industrial ecology of energy metabolism of Saint-Nazaire metropolitan and port area (France) », *Ecological Economics* 167 (2020), p. 106447.
- Bahers, J.-B. et al., « The place of space in urban metabolism research : Towards a spatial turn ? A review and future agenda », *Landscape and Urban Planning* 221 (2022), p. 104376.
- Bahers, J., S. Barles et M. Durand, « Urban Metabolism of Intermediate Cities : The Material Flow Analysis, Hinterlands and the Logistics-Hub Function of Rennes and Le Mans (France) », *Journal of Industrial Ecology* 23.3 (2019), p. 686-698.
- Béal, V. et M. Rousseau, « Alterpolitiques ! », *Métropoles* 15 (2014).
- Balassa, B., « Export Composition and Export Performance in the Industrial Countries, 1953-71 », *The Review of Economics and Statistics* 61.4 (1979), p. 604-607.
- Baldasseroni, L., « Du pavé bâti au pavé battu : les mobilisations des usagers pour les infrastructures de voirie et leur prise en compte politique, Lyon, années 1950-1970 », *Métropoles* 25 (2019).
- Balensi, J., « Les grands travaux du Monde », *Revue des Deux Mondes* 70 (1952), p. 56-68.
- Barjot, D., « L'innovation, moteur de la croissance : le procédé Colas (1920-1944) », *Histoire, économie et société* 2.1 (1983), p. 41-61.
- « Advances in Road Construction Technology in France », dans : *The Economic and Social Effects of the Spread of Motor Vehicles : An International Centenary Tribute*, sous la dir. de T. Barker, London, Palgrave Macmillan, 1987, p. 291-312.

- « Innovation et travaux publics en France (1840-1939) », *Histoire, économie et société* 8.3 (1989), p. 403-414.
- « La grande entreprise Française de travaux publics (1883-1974) », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 29 (1991), p. 47-55.
- « L'industrie française des travaux publics (1940-1945) », *Histoire, économie et société* 11.3 (1992), p. 415-436.
- « Les entrepreneurs et la politique. L'exemple du bâtiment et des travaux publics », *Politix* 6.23 (1993), p. 5-24.
- « Mobilisation des entreprises de BTP et reconstruction des infrastructures : une première approche », *Histoire, économie et société* 18.2 (1999), p. 349-370.
- éd., *La trace des bâtisseurs : histoire du groupe Vinci*, Rueil-Malmaison, Vinci, 2003.
- « Lafarge : l'ascension d'une multinationale à la française (1833-2005) », *Relations internationales* 124.4 (2005), p. 51-67.
- « Reconstruire la France après la Seconde Guerre mondiale : les débuts d'Électricité de France (1946-1953) », *Entreprises et histoire* 70.1 (2013), p. 54-75.
- Barles, S., *L'invention des déchets urbains : France, 1790-1970*, Collection milieux, Seyssel, Champ Vallon, 2005.
- « L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières », *Développement durable et territoires* 5.1 (2014).
- « Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine* 5 (2017), p. 819-836.
- Barles, S. et A. Guillerme, « L'environnement souterrain urbain. Une mine pour la recherche », *Les Annales de la recherche urbaine* 64.1 (1994), p. 64-70.
- Barles, S. et al., *Le sol urbain*, Paris, Economica : Anthropos, 1999.
- Barré, A., « Etude du trafic sur la partie concédée de l'Autoroute A1 », *Hommes et Terres du Nord* 2.1 (1973), p. 37-64.
- « Quelques données statistiques et spatiales sur la genèse du réseau autoroutier français », *Annales de Géographie* 106.593 (1997), p. 229-240.
- Barré, A. et C. Kergomard, « Le «grand Hiver» 1978-79 et les difficultés de la circulation routière dans la région Nord-Pas-de-Calais », *Hommes et Terres du Nord* 2.1 (1980), p. 1-18.
- Barrère, P. et M. Cassou-Mounat, « Le schéma d'aménagement de la côte Aquitaine », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 44.2 (1973), p. 303-320.
- Barry, A., *Material Politics. Disputes along the pipeline*, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, 2013.
- « Infrastructure and the earth », dans : *Infrastructures and Social Complexity*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Routledge, 2017, p. 187-197.
- Bartolotti, F., « Les autorités portuaires face aux pollutions pétrolières dans l'étang de Berre et le golfe de Fos (1945-1979) », *Rives méditerranéennes* 61 (2020), p. 47-68.
- Bastin, A., « Vers une gestion circulaire des matières inertes issues de la démolition et des travaux publics en région parisienne : une lecture croisant transition sociotechnique et approches territoriales », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 42-57.
- Baudin, G. et P. Genestier, « Faut-il vraiment démolir les grands ensembles ? », *Espaces et sociétés* 124-125.1 (2006), p. 207-222.

- Bäckstrand, K. et A. Kronsell, éd., *Rethinking the Green State : Environmental governance towards climate and sustainability transitions*, London, Routledge, 2015.
- Beaudelin, P., « Conséquences de l'exploitation des granulats dans la Garonne », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 60.4 (1989), p. 603-616.
- Beaujeu-Garnier, J., « La sidérurgie française », *L'information géographique* 26.3 (1962), p. 93-102.
- Bednik, A., *Extractivisme. Exploitation industrielle de la nature : logiques, conséquences, résistances*, Neuvy-en-Champagne, Le passager clandestin, 2016.
- Belin, F., « L'arrêt de l'exploitation des houillères de Moselle », *Mémoires de l'Académie Nationale de Metz* (2015), p. 201-212.
- Ben Abdelghani, F., W. Maherezi et M. Boutouil, « Caractérisation géotechnique des sédiments de dragage marins en vue de leur valorisation en techniques routières. », *Déchets, sciences et techniques* 66 (2014), p. 4-13.
- Bendix, J. et M. A. Urban, « Nothing New under the Sun ? George Perkins Marsh and Roots of U.S. Physical Geography », *Annals of the American Association of Geographers* (2020), p. 1-8.
- Bennett, J., « The Force of Things : Steps toward an Ecology of Matter », *Political Theory* 32.3 (2004), p. 347-372.
- « The Agency of Assemblages and the North American Blackout », *Public Culture* 17.3 (2005), p. 445-465.
- *Vibrant matter : a political ecology of things*, Durham, Duke University Press, 2010.
- Bennett, T. et P. Joyce, éd., *Material Powers : Cultural Studies, History and the Material Turn*, London, Routledge, 2010.
- Benquet, M. et R. Sobel, « Entretien avec André Orléan : Monnaie, valeur et capitalisme : « Il m'a fallu aller chercher hors du marxisme de quoi enrichir l'analyse marxiste » », *Revue Française de Socio-Économie* 23.2 (2019), p. 21-32.
- Bensussan, H., « Planification », dans : *Histoire Globale des Socialismes, XIXe-XXIe siècle*, sous la dir. de J.-N. Ducange, R. Keucheyan et S. Roza, PUF, 2021, p. 444-455.
- Berland-Berthon, A., « La démolition des immeubles de logements sociaux. L'urbanisme entre scènes et coulisses », *Les Annales de la recherche urbaine* 107.1 (2012), p. 6-17.
- Berlioz, J., « L'effondrement du Mont Granier en Savoie (fin 1248). Production, transmission et réception des récits historiques et légendaires (XIIIe-XVIIe siècles) », *Le Monde alpin et rhodanien. Revue régionale d'ethnologie* 15.1 (1987), p. 7-68.
- Berthault-Ducieux, A., *Des Grandes Routes et des chemins vicinaux, procédés les plus économiques pour les construire, les améliorer et les maintenir constamment dans le meilleur état possible*, Paris, Carillan-Goeury, 1829.
- *Théorie et pratique des mortiers et ciments romains*, Paris, Carillan-Goeury, 1833.
- *Manuel du cantonnier de chemins vicinaux*, Paris, Carillan-Goeury et Dalmont, 1845.
- *Notions sur les principales questions que soulève en ce moment l'entretien des routes, et sur les meilleurs moyens de hâter les progrès de cet art*, Paris, Carillan-Goeury et Dalmont, 1848.
- Berthonnet, A., « La formation d'une culture économique et technique en Algérie (1830-1962). L'exemple des grandes infrastructures de génie civil », *French Colonial History* 9.1 (2008), p. 37-63.

- « Avec l'aménagement hydroélectrique de Donzère-Mondragon sur le Bas-Rhône (1947-1952), la France entre de plain-pied dans la période dite des « Trente Glorieuses » », *Revue du comité d'histoire du ministère*, "pour mémoire" 9 (2010), p. 121-137.
- Bertolini, G., *Homo plasticus : les plastiques, défi écologique*, Les Dossiers de l'écologie, Paris, Sang de la terre, 1991.
- « Les déchets : rebuts ou ressources ? », *Economie et statistique* 258.1 (1992), p. 129-134.
- Bertrand, G., « Quand le voyage sert à inventer un nouvel espace. Le cas des inspecteurs des Ponts et chaussées français en mission en Italie à l'époque napoléonienne (1805-1812) », *Annales historiques de la Révolution française* 385.3 (2016), p. 133-152.
- Bertrand, H., « Une nouvelle approche de la croissance française de l'après-guerre : l'analyse en sections productives », *Statistiques et études financières* 35.1 (1978), p. 3-36.
- Bethemont, J., « Le Rhône entre nation et région », *Géocarrefour* 72.1 (1997), p. 67-75.
- Beulque, R., H. Micheaux et F. Aggeri, « D'une politique de gestion des déchets vers une politique d'économie circulaire ? », dans : Conférence OPDE - Les Outils pour Décider Ensemble, Rouen, 2016, p. 26.
- Beuret, J.-E. et A. Cadoret, « De l'analyse des conflits à l'étude des systèmes conflictuels : l'exemple des conflits environnementaux et territoriaux dans les trois plus grands ports maritimes français (Marseille-Fos, Le Havre et Dunkerque) », *Géographie, économie, société* 16.2 (2014), p. 207-231.
- Beyer, A., « La numérotation des routes françaises. Le sens de la nomenclature dans une perspective géographique », *Flux* 55.1 (2004), p. 17-29.
- Bezançon, X. et D. Devillebichot, *Histoire de la construction moderne et contemporaine en France*, Paris, Eyrolles, 2014.
- Bianchi, S., *Une tragédie sociale en 1908. Les grèves de Draveil-Vigneux et Villeneuve-Saint-Georges*, Éditions d'Albret, Comité de recherches historiques sur les révolutions en Essonne et Narosse, Chamarande, 2014.
- Biggs, A. J. W. et K. M. Mahony, « Is soil science relevant to road infrastructure ? », *ISCO 2004 - 13th International Soil Conservation Organisation Conference* 410 (2004).
- Billaudot, B., « Accumulation, croissance et emploi dans l'industrie française : rétrospective 1959-1974 », *Economie et statistique* 127.1 (1980), p. 83-99.
- « Institutionnalisme(s), rationalisme et structuralisme en science sociale », *Économie et Institutions* 4 (2004), p. 5-50.
- « Une vision institutionnaliste, historique et pragmatique de l'objet de la science économique », *L'Homme et la société* 170-171.4 (2008), p. 93-126.
- Bisht, A., « Conceptualizing sand extractivism : Deconstructing an emerging resource frontier », *The Extractive Industries and Society* 8.2 (2021), p. 100904.
- Bisht, A. et J.-F. Gerber, « Ecological distribution conflicts (EDCs) over mineral extraction in India : An overview », *The Extractive Industries and Society* 4.3 (2017), p. 548-563.
- Blanc, J.-F., « Deux paysages en terrasses de l'Ardèche », *Revue de géographie de Lyon* 56.4 (1981), p. 391-409.
- Blanchard, R., « L'industrie des chaux et ciments dans le Sud-Est de la France », *Revue de géographie alpine* 16.2 (1928), p. 255-376.

- Blanchemanche, P., *Bâtisseurs de paysages : terrassement, épierrement et petite hydraulique agricoles en Europe, XVIIe-XIXe siècles*, Paris, Editions de la Maison des sciences de l'homme, 1990.
- Blanchet, C. et M. Brissaud, « Evolution du lit du Drac dans la traversée de Grenoble », *Société hydrotechnique de France*, Xeme Journées de l'hydraulique 10.5 (1968), Publisher : Persée - Portail des revues scientifiques en SHS, p. 1-7.
- Blerzy, H., « Études sur les travaux publics. Routes, chemins et tramways », *Revue des Deux Mondes* 27.3 (1878), p. 628-658.
- Blond, S., « L'atlas des routes royales de Trudaine. La carte, instrument de la politique routière des lumières », *Siècles. Cahiers du Centre d'histoire « Espaces et Cultures »* 25 (2007), p. 66-82.
- Bodiguel, J.-L., « La DATAR : quarante ans d'histoire », *Revue française d'administration publique* 119.3 (2006), p. 401-414.
- Boltanski, L., « Les usages sociaux de l'automobile : concurrence pour l'espace et accidents », *Actes de la recherche en sciences sociales* 1.2 (1975), p. 25-49.
- « America, America... : Le Plan Marshall et l'importation du "management" », *Actes de la recherche en sciences sociales* 38.1 (1981), p. 19-41.
- Boltanski, L. et E. Chiapello, *Le nouvel esprit du capitalisme*, Nouvelle éd., Paris, Gallimard, 2011.
- Bonet-Fernandez, D., I. Petit et A. Lancini, « L'économie circulaire : quelles mesures de la performance économique, environnementale et sociale ? », *Revue française de gestion industrielle* 33.4 (2014), p. 23-43.
- Bonnerot, J., *Les Routes de France*, Les évocations françaises, Paris, Henri Laurens, 1921.
- Bonneuil, C. et J.-B. Fressoz, *L'événement anthropocène. La Terre, l'histoire et nous*. 2ème édition, Points, Paris, Seuil, 2016.
- Bony, J.-A., *Table des surfaces et des dimensions des profils avec compensation entre les déblais et les remblais dressés pour des routes de 8 et de 6 mètres, en plaine et à mi-côte, et applicables à des routes de toute autre largeur*, Librairie de l'École Polytechnique, Paris, Bachelier, 1853.
- Bordes, J.-L., « Les barrages en France du XVIIIe à la fin du XXe siècle. Histoire, évolution technique et transmission du savoir », *Revue du comité d'histoire du ministère*, "pour mémoire" 9 (2010), p. 70-120.
- Bou, C. et J.-N. Salomon, « L'impact des aménagements anthropiques sur le cours moyen du Tarn », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen* 3.1 (1998), p. 29-38.
- Bouchaud, B. et al., « Incidences des extractions de matériaux alluvionnaires et de l'aménagement des cours d'eau sur l'écosystème aquatique », *Bulletin Français de Pisciculture* 273 (1979), p. 137-156.
- Bouchet, M., « Le Rhône, la C.N.R. et les autres », *Revue de géographie de Lyon* 55.3 (1980), p. 241-262.
- « De Donzère à Vaugris : 30 ans d'aménagement du territoire vus à travers les activités de la Compagnie Nationale du Rhône », *Revue de géographie de Lyon* 58.2 (1983), p. 185-201.

- Boudes, P., « Morphologie sociale et sociologie de l'environnement : l'apport de Halbwachs à l'étude des relations entre les sociétés et leur milieu naturel », *L'Année sociologique* 61.1 (2011), p. 201-224.
- Boulaine, J., « V. V. Dokouchaev et les débuts de la pédologie. », *Revue d'histoire des sciences* 36.3 (1983), p. 285-306.
- *Matériaux pour une histoire de la science du sol*, Grignon, Institut National Agronomique, 1985.
- « Histoire abrégée de la Science des Sols », *Étude et Gestion des Sols* 4.2 (1997), p. 141-151.
- « Histoire de la fertilisation phosphatée 1762-1914 », *Étude et Gestion des Sols* 13.2 (2006), p. 129-137.
- Bouma, J. et A. E. Hartemink, « Soil science and society in the Dutch context », *NJAS : Wageningen Journal of Life Sciences* 50.2 (2003), p. 133-140.
- Bourdieu, P., « Le marché des biens symboliques », *L'année sociologique* 22 (1971), p. 49-126.
- « Sur les rapports entre la sociologie et l'histoire en Allemagne et en France », *Actes de la recherche en sciences sociales* 106.1 (1995), p. 108-122.
- *Méditations pascaliennes*, Liber, Paris, Seuil, 1997.
- *Questions de sociologie*, Paris, Les Éditions de Minuit, 2009.
- Boutmin, G. et al., « Sur les possibilités d'utiliser les sables marins comme substitution des sables de Loire dans la région nantaise », dans : *La gestion régionale des sédiments*, Propriano, Corse, BRGM, 1981, p. 41-54.
- Boyer, R., *Économie politique des capitalismes : théorie de la régulation et des crises*, Paris, La Découverte, 2015.
- Boyer, R. et M. Freyssenet, *Les modèles productifs*, Repères, Paris, La Découverte, 2000.
- Brand, U. et M. Wissen, « Global Environmental Politics and the Imperial Mode of Living : Articulations of State–Capital Relations in the Multiple Crisis », *Globalizations* 9.4 (2012), p. 547-560.
- « What Kind of Great Transformation ? The Imperial Mode of Living as a Major Obstacle to Sustainability Politics », *GAIA - Ecological Perspectives for Science and Society* 27.3 (2018), p. 287-292.
- Breetz, H. L., « Political-industrial ecology : Integrative, complementary, and critical approaches », *Geoforum* 85 (2017), p. 392-395.
- Briggs, M., J. Webb et C. Wilson, « Automotive Modal Lock-in : The role of path dependence and large socio-economic regimes in market failure », *Economic Analysis and Policy* 45 (2015), p. 58-68.
- Bringezu, S., « Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources », *Resources* 4.1 (2015), p. 25-54.
- Bringezu, S. et al., « International comparison of resource use and its relation to economic growth », *Ecological Economics* 51.1 (2004), p. 97-124.
- Bériot, L., *Les Pieds dans la mer*, Paris, J.-C. Lattès : Éditions maritimes et d'outre-mer, 1976.
- Brown, A. G. et al., « The geomorphology of the Anthropocene : emergence, status and implications : the geomorphology of the anthropocene », *Earth Surface Processes and Landforms* 42.1 (2017), p. 71-90.

- Brown, S. F., « *Géotechnique* 1948–2008 : more than just a journal », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 315-326.
- « The Golder Archive : further insights into the birth of *Géotechnique* », *Géotechnique* 63.7 (2013), p. 573-583.
- Brunner, P. H., « Urban Mining A Contribution to Reindustrializing the City », *Journal of Industrial Ecology* (2011).
- Brunot, A. et R. Coquand, *Le corps des Ponts et Chaussées*, Editions du CNRS, 1982.
- Bruère, R., *Traité de consolidation des talus : routes, canaux et chemins de fer*, Librairie scientifique, industrielle et agricole, Paris, E. Lacroix, 1862.
- Buclet, N., « Gestion de crise environnementale et démocratie participative : le cas de l'incinération des déchets ménagers », *Politiques et management public* 23.2 (2005), p. 91-116.
- Buier, N., « The anthropology of infrastructure : The boom and the bubble? », *Focaal — Journal of Global and Historical Anthropology* (2022), p. 1-15.
- Bunker, S. G., *Underdeveloping the Amazon : extraction, unequal exchange, and the failure of the modern state*, Chicago, University of Chicago Press, 1988.
- Burchardt, H.-J. et K. Dietz, « (Neo-)extractivism – a new challenge for development theory from Latin America », *Third World Quarterly* 35.3 (2014), p. 468-486.
- Burland, J. B., « The founders of *Géotechnique* », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 327-341.
- « A brief history of the development of geotechnical engineering », dans : *ICE Manual of Geotechnical Engineering*, Institution of Civil Engineers, 2012.
- Butler, D. R., « Man as a Geological Agent : An Account of His Actions on Inanimate Nature, by Robert Lionel Sherlock, 1922 », *Progress in Physical Geography : Earth and Environment* 42.4 (2018), p. 530-534.
- Cahen-Fourot, L., « Contemporary capitalisms and their social relation to the environment », *Ecological Economics* 172 (2020), p. 106634.
- Caillé, A. et al., éd., *Des sciences sociales à LA science sociale Fondements anti-utilitaristes*, Lormont, Le bord de l'eau, 2018.
- Cambefort, H., *Géotechnique de l'ingénieur et reconnaissance des sols*, 4ème édition, Paris, Eyrolles, 1971.
- Canguilhem, G., *Régulation (épistémologie)*, dans : *Encyclopaedia Universalis*, t. 15, 1985, p. 797-799.
- Cao, Z. et al., « Elaborating the History of Our Cementing Societies : An in-Use Stock Perspective », *Environmental Science & Technology* 51.19 (2017), p. 11468-11475.
- Cao, Z. et al., « Estimating the in-use cement stock in China : 1920–2013 », *Resources, Conservation and Recycling* 122 (2017), p. 21-31.
- Caro, P., éd., *La politique d'aménagement du territoire : racines, logiques et résultats*, Espace et territoires, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2002.
- Caron, F., « La naissance d'un système technique à grande échelle. Le chemin de fer en France (1832-1870) », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 53.4 (1998), p. 859-885.
- Carré, C. et M. Chartier, « La gestion d'une ressource non renouvelable : entre gestion durable et aménagement des nuisances, le cas des granulats alluvionnaires en Île-de-France », *Annales de Géographie* 111.626 (2002), p. 406-418.
- Carré, M.-N. et F.-M. Le Tourneau, « Les espaces-déchets, d'autres grands espaces américains », *Espace géographique* 45.3 (2016), p. 265-281.

- Carse, A., « Nature as infrastructure : Making and managing the Panama Canal watershed », *Social Studies of Science* 42.4 (2012), p. 539-563.
- « Keyword : Infrastructure. How a humble French engineering term shaped the modern world », dans : *Infrastructures and social complexity : a companion*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Culture, Economy and the Social, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017, p. 27-39.
- Carse, A. et D. Kneas, « Unbuilt and Unfinished », *Environment and Society* 10.1 (2019), p. 9-28.
- Castells, M., *La question urbaine*, Textes à l'appui, Paris, François Maspero, 1972.
- Castelnaud, G. et P. De Verdilhac, « La pêche dans l'estuaire de la Gironde », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 52.1 (1981), p. 81-105.
- Catafau, A., M. Martzluff et O. Passarrius, « Formation et évolution d'un paysage de terrasses, depuis le Moyen Âge à l'actuel, dans la montagne brûlée de Rodès (Pyrénées-Orientales). », *Actes des congrès nationaux des sociétés historiques et scientifiques* 135.2 (2011), p. 19-32.
- Cavaillès, H., *La route française son histoire sa fonction. Son histoire, sa fonction*, Armand Colin, 1946.
- Cerceau, J. et al., « Au cœur des nouvelles filières de recyclage des déchets, les ports », *Annales des Mines - Réalités industrielles* 4 (2015), p. 49-53.
- Chamayou, G., *La société ingouvernable : une généalogie du libéralisme autoritaire*, Paris, La Fabrique, 2018.
- Charbonnier, P., *Abondance et liberté. Une histoire environnementale des idées politiques*, Sciences humaines, Paris, La Découverte, 2020.
- Charleville, A. Raucourt de, *Traité sur l'art de faire de bons mortiers*, 2ème édition, Librairie scientifique et industrielle, Paris, De Malher et Cie, 1828.
- Chartier, D. et E. Rodary, éd., *Manifeste pour une géographie environnementale : géographie, écologie, politique*, Académique, Paris, Presses de Sciences Po, 2016, 439 p.
- Chatzis, K. et G. Ribeill, « L'espace des carrières des ingénieurs de l'équipement dans le public et le privé (1800-2000) », *Revue française d'administration publique* 116.4 (2005), p. 651-670.
- Chatzis, K. et al., éd., *Les métamorphoses des infrastructures, entre béton et numérique*, Bruxelles, Peter Lang, 2018.
- Chauris, L., « Les anciennes carrières de la région lorientaise (Morbihan) », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest* 120 (2013), p. 11-36.
- Chesneau, I., « De l'équilibre anticipé à la coexistence des différences : L'obsolescence des immeubles de bureau », *Les Annales de la recherche urbaine* 92.1 (2002), p. 131-139.
- « Dysfonctionnement dans le mode de réception de l'architecture contemporaine : le cas de l'obsolescence », dans : *La réception de l'architecture*, réd. par R. Klein et P. Louguet, Cahiers thématiques, Éditions de la Maison des sciences de l'homme, 2002, p. 67-76.
- « Le renouvellement des immeubles de bureaux. Le cas de l'Île-de-France », *Les Annales de la recherche urbaine* 97.1 (2004), p. 67-74.
- Cheysson, E., « La circulation sur les routes nationales d'après les comptages de 1882 », *Journal de la société statistique de Paris* 25 (1884), p. 136-159.

- Chopin, A., *La vie du ciment en Afrique. Matière grise de l'urbain*, vuesDensembleEssais, Genève, MetisPresses, 2020.
- Chrimes, M., « Geotechnical publications before *Géotechnique* », *Géotechnique* 58.5 (2008), p. 343-355.
- Christian, J. T. et G. B. Baecher, « D. W. Taylor and the Foundations of Modern Soil Mechanics », *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 141.2 (2015), p. 02514001.
- Christiany, J., « Mise en place des travaux du canal de l'Eure, septembre 1684-juillet 1685. Un ouvrage inachevé », *Atti e rassegna tecnica della società degli ingegneri e degli architetti in Torino* 42.1 (2018), p. 102-108.
- Christoff, P., « Ecological modernisation, ecological modernities », *Environmental Politics* 5.3 (1996), p. 476-500.
- Chua, C. et al., « Introduction : Turbulent Circulation : Building a Critical Engagement with Logistics », *Environment and Planning D : Society and Space* 36.4 (2018), p. 617-629.
- Claudé, J. et L. Laroque, *Pratique de l'art de construire : maçonnerie, terrasse et plâtrerie*, Deuxième édition, Paris, Dalmont et Dunod, 1859.
- Clube, R. K. M. et M. Tennant, « The Circular Economy and human needs satisfaction : Promising the radical, delivering the familiar », *Ecological Economics* 177 (2020), p. 106772.
- Cohrs, H.-H., *The Classic Construction Series – 500 years of Earthmoving*, Wadhurst, 1997.
- Collin, A., *Recherches expérimentales sur les glissements spontanés des terrains argileux*, Paris, Carilian-Gœury et Dalmont, 1846.
- Conia, M., « Les bases américaines sur le territoire français. Une illustration de la Guerre froide », dans : *La Guerre froide vue d'en bas*, sous la dir. de P. Buton, O. Büttner et M. Hastings, Paris, CNRS Editions, 2014, p. 151-166.
- Économistes atterrés, éd., *La dette publique : précis d'économie citoyenne*, Paris, Seuil, 2021.
- Cooper, A. H. et al., « Humans are the most significant global geomorphological driving force of the 21st century », *The Anthropocene Review* 5.3 (2018), p. 222-229.
- Cormon, P., *La démolition du béton*, Paris, Eyrolles, 1979.
- Coulomb, C. A., « Essai sur une application des règles des maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture », *Mémoire Académie Royale Des Sciences* (1773), p. 342-382.
- Cowen, D., *The Deadly Life of Logistics : Mapping Violence in Global Trade*, Minneapolis, University of Minnesota Press, 2014.
- Croise, R., « Traitement des sols aux liants hydrauliques », *Revue Forestière Française* 5 (1964), p. 427-438.
- Cronon, W., *Chicago, métropole de la nature*, Zones Sensibles, 2022.
- Cros, B., « Le patrimoine militaire de la rade de Toulon : histoire, territorialité et gestion patrimoniale », *In Situ. Revue des patrimoines* 16 (2011).
- Crouzet, E., « Évolution récente de la géographie des bureaux en Île-de-France », *Annales de Géographie* 110.618 (2001), p. 151-174.
- Cérézuelle, D., « Une nouvelle théodicée? Remarques sur la sociologie des techniques de Bruno Latour », *Revue du MAUSS* 54.2 (2019), p. 367-393.
- Dalmasso, A., « Ingénieurs et habitants autour des barrages alpins », dans : *Grands barrages et habitants*, sous la dir. de N. Blanc et S. Bonin, Paris, MSH-Quae, 2008, p. 141-153.

- Danyluk, M., « Capital's logistical fix : Accumulation, globalization, and the survival of capitalism », *Environment and Planning D : Society and Space* 36.4 (2018), p. 630-647.
- Dardot, P. et C. Laval, *La nouvelle raison du monde : essai sur la société néolibérale*, Poche / Sciences humaines et sociales, Paris, La Découverte, 2010.
- Daumalin, X., « Les beautés "naturelles" méditerranéennes à l'épreuve des multinationales industrielles : l'affaire de la calanque de Port-Miou », dans : *Engagements. Culture politique, guerres, mémoires, mondes du travail XVIIIe-XXIe siècle*, Aix-en-Provence, Presses universitaires de Provence, 2016, p. 361-374.
- Davezies, L., *La République et ses territoires : la circulation invisible des richesses*, La République des idées, Paris, Seuil, 2008.
- Debauve, A., *Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées*, Paris, Dunod, 1872.
- *Procédés et matériaux de construction. Tome premier : sondages, terrassements, dragages*, Paris, Dunod, 1884.
- *Procédés et matériaux de construction. Tome deuxième : fondations*, t. 3ème partie, Paris, Dunod, 1885.
- *Procédés et matériaux de construction. Tome troisième : matériaux de construction*, t. 4ème partie, Paris, Dunod, 1886.
- *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle*, Paris, Dunod, 1893.
- Delemontey, Y., *Reconstruire la France. L'aventure du béton assemblé, 1940-1955*, Editions de La Villette, 2015.
- Delestré, H., « L'accumulation du capital fixe », *Economie et statistique* 114.1 (1979), p. 33-47.
- Delhumeau, G., *L'invention du béton armé : Hennebique, 1890-1914*, Essais, Paris, Norma, 1999.
- Demaure, J.-C., « Les contraintes écologiques de l'aménagement de la Loire », *Penn ar Bed* 12.97 (1979), p. 57-72.
- Depeyre, M., « Les métamorphoses du "Crassier" ou les ambiguïtés d'une patrimonialisation », *Ethnographies des pratiques patrimoniales : temporalités, territoires, communautés [en ligne]* 24 (2012).
- Descombes, V., *Les institutions du sens*, Critique, Paris, Editions de minuit, 1996.
- Desdevises, A., « Le ciment, matériau de construction. Histoire et développement », *Culture Technique* 26 (1992), p. 51-57.
- Desportes, M. et A. Picon, *De l'espace au territoire : l'aménagement en France, XVIe-XXe siècles*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et chaussées, 1997.
- Després, C., *Le SETRA de Bagneux à Sourdun et l'histoire tourmentée des autoroutes*, Paris, Presses des ponts, 2014.
- Desse, R.-P. et C. Meur-Ferec, « Le golf en France : enjeux fonciers », *Annales de Géographie* 103.579 (1994), p. 471-490.
- Desvaux, P., « Économie circulaire acritique et condition post-politique : analyse de la valorisation des déchets en France », *Flux* 108.2 (2017), p. 36-50.
- Devaux, P., *Les Grands Travaux*, 2ème édition, Que sais-je ?, Paris, PUF, 1962.
- Deverre, C., « Les nouveaux liens sociaux au territoire », *Natures Sciences Sociétés* 12.2 (2004), p. 172-178.

- Deyon, P. et A. Frémont, *La France et l'aménagement de son territoire (1945 - 2015)*, Décentralisation et développement local, Paris, Dexia Editions Locales de France, 2000.
- Dhir, R. K., N. A. Henderson et M. C. Limbachiya, éd., *Sustainable construction : use of recycled concrete aggregate*, Telford, 1998.
- Dorninger, C. et al., « Global patterns of ecologically unequal exchange : Implications for sustainability in the 21st century », *Ecological Economics* 179 (2021).
- Douai, A. et G. Plumecocq, *L'économie écologique*, Repères, Paris, La Découverte, 2017.
- Douai, A. et F.-D. Vivien, « Economie écologique et économie hétérodoxe : pour une socio-économie politique de l'environnement et du développement durable », *Économie appliquée : archives de l'Institut de science économique appliquée* 62.3 (2009), p. 123-158.
- Doussaud, A., *Des Extractions de matériaux et des occupations temporaires*, Bibliothèque de l'Entreprise de Travaux Publics, Paris, Marchal - Billard, 1892.
- Désabres, P., « Quelques aspects techniques de la construction des infrastructures du métro de Paris, 1898-1910 », dans : *Métro, dépôts, réseaux*, sous la dir. de N. Gérôme et M. Margairaz, Éditions de la Sorbonne, 2002, p. 37-53.
- Dubuisson, B., *Topographie, tracé et épures de terrassement*, Paris, Aristide Quillet, 1950.
- Duclos, D., « Classe ouvrière et environnement », *Sociologie du travail* 22.3 (1980), p. 324-345.
- Dugrand, R., « L'aménagement du bas Rhône », *Annales de Géographie* 62.333 (1953), p. 368-373.
- Duit, A., « The four faces of the environmental state : environmental governance regimes in 28 countries », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 69-91.
- Duit, A., P. H. Feindt et J. Meadowcroft, « Greening Leviathan : the rise of the environmental state? », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 1-23.
- Dunlap, A. et J. Jakobsen, *The Violent Technologies of Extraction : Political ecology, critical agrarian studies and the capitalist worldeater*, Cham, Springer International Publishing, 2020.
- Durand, M., J.-B. Bahers et H. Beraud, « La mise en territoire de l'économie circulaire : comment mettre en œuvre la proximité dans la circulation des déchets? », *Géocarrefour [en ligne]* 91.3 (2017).
- Durand-Claye, C.-L., *Cours de routes : professé à l'École des ponts et chaussées : dispositions d'une route, étude et rédaction des projets, construction, entretien*, 2ème édition, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1895.
- Eckersley, R., *The green state : rethinking democracy and sovereignty*, Cambridge, MA, MIT Press, 2004.
- Edelblutte, S., « "Logique d'exploitation" ou "logique de protection" dans la vallée de la moyenne Moselle. Le paysage révélateur des conflits spatiaux liés à l'extraction des alluvions », *Géocarrefour* 75.4 (2000), p. 293-304.
- « Que reste-t-il de l'industrie après la désindustrialisation ? De la négation au patrimoine industriel », *Bulletin de l'Association de Géographes Français* 88.2 (2011), p. 150-163.
- Edelblutte, S. et J. Legrand, « Patrimoine et culture industriels en milieu rural : quelles spécificités? », *Revue Géographique de l'Est* 52.3 (2012).
- Edgerton, D., *Shock Of The Old : Technology and Global History since 1900*, New York, Oxford University Press, 2007.

- Edwards, P. et al., « Introduction : An Agenda for Infrastructure Studies », *Journal of the Association for Information Systems* 10.5 (2009), p. 364-374.
- Edwards, P. N., « Infrastructure and Modernity : Force, Time, and Social Organization in the History of Sociotechnical Systems », dans : *Modernity and Technology*, sous la dir. de T. J. Misa, P. Brey et A. Feenberg, Cambridge, MIT Press, 2003, p. 185-225.
- Edwards, P. N. et al., « AHR Conversation : Historical Perspectives on the Circulation of Information », *The American Historical Review* 116.5 (2011), p. 1393-1435.
- Elhacham, E. et al., « Global human-made mass exceeds all living biomass », *Nature* 588.7838 (2020), p. 442-444.
- Elie, L. et al., « Approche régulationniste de la diversité des dispositifs institutionnels environnementaux des pays de l'OCDE », *Revue de la régulation. Capitalisme, institutions, pouvoirs [en ligne]* 12 (2012).
- Ellis, E. C., « Physical geography in the Anthropocene », *Progress in Physical Geography : Earth and Environment* 41.5 (2017), p. 525-532.
- Elsen, J., « Microscopy of historic mortars—a review », *Cement and Concrete Research* 36.8 (2006), p. 1416-1424.
- Elsen, J., G. Mertens et R. Snellings, « Portland cement and other calcareous hydraulic binders : history, production and mineralogy », dans : *Advances in the Characterization of Industrial Minerals*, sous la dir. de G. Christidis, 1st, Mineralogical Society of Great Britain & Ireland, 1^{er} août 2011, p. 441-479.
- Elsen, J., K. Van Balen et G. Mertens, « Hydraulicity in Historic Lime Mortars : A Review », dans : *Historic Mortars*, sous la dir. de J. Válek, J. J. Hughes et C. J. W. P. Groot, Dordrecht, Springer Netherlands, 2012, p. 125-139.
- Epstein, R., *La rénovation urbaine : démolition-reconstruction de l'État*, Domaine Gouvernances, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2013.
- Espérou, R., « Les aérodromes français des origines à 1975 », *Revue du comité d'histoire du ministère, "pour mémoire"* 9 (2010), p. 7-45.
- Etienne, C., A. Masson et D. Casalunga, *Nouveau manuel complet du terrassier et de l'entrepreneur de terrassements. Tome I*, Encyclopédie-Roret, Paris, L. Mulo, 1910.
- *Nouveau manuel complet du terrassier et de l'entrepreneur de terrassements. Tome II*, Encyclopédie-Roret, Paris, L. Mulo, 1910.
- Etner, F., *Histoire du calcul économique en France*, Paris, Economica, 1987.
- Evrard, A., *Les moyens de transport appliqués dans les mines, les usines et les travaux publics : organisation et matériel*, t. 2, Librairie polytechnique, Paris, J. Baudry, 1874.
- Farinetti, A., « Droit et protection des processus sédimentaires », *Revue Juridique de l'Environnement* 38.2 (2013), p. 205-220.
- Fernandez, M., « La strate du sol d'une mégapole : observations localisées sur l'Anthropocène. Les couches issues des périodes préindustrielle et industrielle à Paris », *Géocarrefour [en ligne]* 92.2 (2018).
- Fernandez, M. et al., « Renouvellement urbain et optimisation du métabolisme : une équation complexe », *Flux* 116-117.2 (2019), p. 58-73.
- Fisch-Romito, V. et al., « Systematic map of the literature on carbon lock-in induced by long-lived capital », *Environmental Research Letters* 16.5 (2021), p. 053004.

- Fischer-Kowalski, M., « Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860– 1970 », *Journal of Industrial Ecology* 2.1 (1998), p. 61-78.
- Fischer-Kowalski, M. et W. Hüttler, « Society's Metabolism : The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998 », *Journal of Industrial Ecology* 2.4 (1998), p. 107-136.
- Fischer-Kowalski, M. et H. Weisz, « The archipelago of social ecology and the island of the Vienna school », dans : *Social Ecology. Society-Nature Relations across Time and Space*, sous la dir. de H. Haberl et al., t. 5, Human-Environment Interactions, Springer International Publishing, 2016, p. 3-28.
- Flonneau, M., « L'action du district de la région parisienne et les « dix glorieuses de l'urbanisme automobile », 1963-1973 », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 3.79 (2003), p. 93-104.
- « Redonner de l'avenir à une centenaire : Paris, sa circulation et ses automobiles au cours des années soixante dix », *Revue du comité d'histoire du ministère*, « pour mémoire » 2 (2007), p. 54-68.
- Fontaine, M., « Visible/invisible : Ce qui reste des mines », *Techniques & culture* 65 (2016), p. 74-91.
- Forty, A., *Concrete and culture : a material history*, London, Reaktion Books, 2012.
- Foucault, M., *Sécurité, Territoire, Population. Cours au Collège de France (1977-1978)*, EHESS, Hautes études, Paris, Gallimard / Seuil, 2004.
- Fournet-Guérin, C., « La rocade et la ville : contournement et détournement d'usages à Antananarivo (Madagascar) », *Métropolitiques* (2014).
- Fournier, P., « Introduction. Pour une histoire de l'aménagement des espaces ruraux », *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 122.272 (2010), p. 469-476.
- « Pour une histoire environnementale de l'aménagement territorial », dans : *Aménagement et environnement : perspectives historiques*, sous la dir. de P. Fournier et G. Massard-Guilbaud, "Histoire", Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2016, p. 7-21.
- Fournier, P. et G. Massard-Guilbaud, éd., *Aménagement et environnement : perspectives historiques*, "Histoire", Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2016.
- Fourquet, F. et L. Murard, *Les équipements du pouvoir : villes, territoires et équipements collectifs*, 10/18 ; 1073, Paris, Union générale d'éditions, 1976.
- Fresso, J.-B., « La main invisible a-t-elle le pouce vert ? », *Techniques & Culture* 65 (2016), p. 324-339.
- *L'apocalypse joyeuse : une histoire du risque technologique*, Points, Paris, Seuil, 2020.
- Fresso, J.-B. et al., *Introduction à l'histoire environnementale*, Repères Histoire, Paris, La Découverte, 2014.
- Freyssenet, M., *La sidérurgie française, 1945-1979. L'histoire d'une faillite. Les solutions qui s'affrontent*, Paris, Savelli, 1979.
- Frick, P. et J.-L. Canaud, *Tracé et Terrassements*, Bibliothèque du conducteur de travaux publics, Paris, Dunod, 1903.
- Frioux, S. et C. Bonneuil, « Les "Trente Ravageuses" ? L'impact environnemental et sanitaire des décennies de haute croissance », dans : *Une autre histoire des "Trente Glorieuses" : modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*, sous la dir. de C. Pessis, S. Topçu et C. Bonneuil, Cahiers libres, Paris, La Découverte, 2013, p. 41-60.

- Gachon, L., « Un siècle d'histoire des sols de France : dégradation et réfection », *Revue de géographie jointe au Bulletin de la Société de géographie de Lyon et de la région lyonnaise* 25.2 (1950), p. 81-89.
- Gakenheimer, R., « Infrastructure Shortfall : The Institutional Problems », *Journal of the American Planning Association* 55.1 (1989), p. 14-23.
- Garcier, R., « One cycle to bind them all? Geographies of nuclearity in the uranium fuel cycle », dans : *Economies of Recycling : The global transformation of materials, values and social relations*, sous la dir. de C. Alexander et J. Reno, London, Zed Books Ltd, 2012, p. 76-97.
- Gasowski, Z., « L'enfoncement du lit de la Loire », *Revue de géographie de Lyon* 69.1 (1994), p. 41-45.
- Gaïti, B., « L'érosion discrète de l'État-providence dans la France des années 1960. Retour sur les temporalités d'un « tournant néo-libéral » », *Actes de la recherche en sciences sociales* 201-202.1 (2014), p. 58-71.
- Gaudemar, J.-P. d., éd., *Environnement et aménagement du territoire*, Recherches, Paris, La Documentation française, 1996.
- Gaudreau, L., « Espace, temps et théorie du capital chez Henri Lefebvre et Marx », *Cahiers de recherche sociologique* 55 (2013), p. 155-176.
- Gautier, E., « Suivi de l'impact d'une ballastière sur une rivière torrentielle : le Petit Buech (Hautes-Alpes) », *Géographes associés* 10.1 (1992), p. 113-118.
- George, P., « L'ouverture des chantiers du canal du Rhône, première phase de la transformation de la vie économique et sociale dans la plaine de Pierrelatte-Bollène », *Les Études rhodaniennes* 23.4 (1948), p. 215-225.
- Gerber, F. et C. Assens, « De Vauban à Taylor : une approche historique sur la méthode de calcul des coûts du travail », *Revue internationale des sciences de l'organisation* 9 (2020), p. 105-125.
- Ghyoot, M. et al., éd., *Déconstruction et réemploi. Comment faire circuler les éléments de construction*, Architecture, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018.
- Giandou, A., *La Compagnie nationale du Rhône, 1933-1998 : histoire d'un partenaire régional de l'État*, Grenoble, Presses universitaires de Grenoble, 1999.
- Gingras, Y., « Un air de radicalisme : Sur quelques tendances récentes en sociologie de la science et de la technologie », *Actes de la recherche en sciences sociales* 108.1 (1995), p. 3-18.
- Gintrac, C., « Le foisonnement récent de la géographie critique en France », *Histoire de la recherche contemporaine* 9.1 (2020), p. 35-44.
- Gislain, J.-J. et P. Steiner, *La sociologie économique 1890-1920 : Durkheim, Pareto, Schumpeter, Simiand, Veblen et Weber*, Sociologie, Paris, PUF, 1995.
- Giusti, C., « Deux dimensions du beau en géomorphologie. Essai sur le critère esthétique dans les sciences du relief », *L'Information géographique* 78.3 (2014), p. 80-102.
- Glasson, D., « Un siècle de congrès mondiaux de la route », *Revue du comité d'histoire du ministère, "pour mémoire"* 3 (2007), p. 7-58.
- *Les cantonniers des routes. Une histoire d'émancipation*, Paris, L'Harmattan, 2014.

- Gély, J.-P., « Du centre carrier au centre urbain, stratégie d'approvisionnement en pierres d'appareil des chantiers de construction : l'exemple du Bassin parisien », dans : *Construire la ville : histoire urbaine de la pierre à bâtir*, sous la dir. de J. Lorenz, F. Blary et J.-P. Gély, Collection CTHS sciences 14, Paris, Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, 2014, p. 67-82.
- Goger, J.-M., « Le temps de la route exclusive en France : 1780-1850 », *Histoire, économie et société* 11.4 (1992), p. 597-618.
- Gonin, E., *Manuel pratique de construction*, Paris, J. Dejeu & Cie, 1877.
- Goodman, R. E., *Karl Terzaghi : the engineer as artist*, Reston, Va, American Society of Civil Engineers, 1999.
- Goodwin, P. et K. Van Dender, « 'Peak Car' — Themes and Issues », *Transport Reviews* 33.3 (2013), p. 243-254.
- Gorz, A., *Stratégie ouvrière et néo-capitalisme*, Paris, Seuil, 1964.
- Graber, F., « Le nivellement, une mesure pour l'action autour de 1800 », *Histoire & mesure* XXI.2 (2006), p. 29-54.
- Graedel, T. E., « The prospects for urban mining », *The Bridge* 41 (2011), p. 43-50.
- Graëff, A., *Construction des canaux et des chemins de fer. Histoire critique des travaux exécutés dans les Vosges au chemin de fer de Paris à Strasbourg et au canal de la Marne au Rhin. Analyse détaillée et classement méthodique des dépenses faites pour ces travaux*, Librairie scientifique, industrielle et agricole, Paris, E. Lacroix, 1861.
- Graham, S., *Disrupted Cities : When Infrastructure Fails*, New York, NY, Routledge, 2010.
- Graham, S. et N. Thrift, « Out of Order : Understanding Repair and Maintenance », *Theory, Culture & Society* 24.3 (2007), p. 1-25.
- Grall, B., *Economie de forces et production d'utilités. L'émergence du calcul économique chez les ingénieurs des Ponts et Chaussées (1831-1891)*, avec la coll. de F. Vatin, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2003.
- « Fos - Étang de Berre. Un littoral au cœur des enjeux environnementaux », *Rives méditerranéennes [En ligne]* 61 (2020), sous la dir. de C. Gramaglia et M. Duperrex.
- Gras, P., « Portraits d'inventeurs : des paternités multiples », dans : *Sacré béton ! Fabrique et légende d'un matériau du futur*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Lyon, Libel, 2015, p. 40-53.
- Grass, J., *Nouveau système d'entretien des routes et des chemins vicinaux*, Strasbourg ; Paris, Levrault, 1832.
- Gregson, N. et al., « Interrogating the circular economy : the moral economy of resource recovery in the EU », *Economy and Society* 44.2 (2015), p. 218-243.
- Grenier, J.-Y., *L'économie d'Ancien Régime : un monde de l'échange et de l'incertitude*, Paris, Albin Michel, 1996.
- Gärbling, T. et L. Steg, éd., *Threats from car traffic to the quality of urban life : problems, causes, and solutions*, Bingley, Emerald Publishing, 2007.
- Groß, R. et al., « How the European recovery program (ERP) drove France's petroleum dependency, 1948–1975 », *Environmental Innovation and Societal Transitions* 42 (2022), p. 268-284.
- Grosse, F., « Les limites du recyclage dans un contexte de demande croissante de matières premières », *Annales des Mines - Responsabilité et environnement* 76.4 (2014), p. 58-63.

- Grosse, F. et G. Mainguy, « Is recycling “part of the solution”? The role of recycling in an expanding society and a world of finite resources », *S.A.P.I.E.N.S [Online]* 3.1 (2010).
- Grossetête, M., *Accidents de la route et inégalités sociales : les morts, les médias et l'État*, Champ social, Bellecombe-en-Bauges, Éditions du Croquant, 2012.
- Guichonnet, P., « L'achèvement du tunnel du Mont-Blanc », *Revue de géographie alpine* 51.1 (1963), p. 145-154.
- Guigueno, V., « La France vue du sol. Une histoire de La Mission photographique de la Datar (1983-1989) », *Études photographiques* 18 (2006), p. 97-119.
- Guillemin, A., *Les chemins de fer*, 5ème édition, Bibliothèque des Merveilles, Paris, Hachette et Cie, 1876.
- Guillerme, A., *Corps à corps sur la route : Les routes, les chemins et l'organisation des services au XIXe siècle*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1984.
- « From lime to cement : The industrial revolution in French civil engineering (1770–1850) », *History and Technology* 3.1 (1986), p. 25-85.
- « Techniques et matériaux de construction XIXe-XXe siècle, une introduction », *History and Technology* 7.3 (1991), p. 165-178.
- « Les fondations dans le génie civil en France, 1800-1830 », *Culture Technique* 26 (1992), p. 12-19.
- *Bâtir la ville. Révolutions industrielles dans les matériaux de construction, France - Grande Bretagne, 1760-1840*, Paris, Champ Vallon / PUF, 1995.
- « La congestion urbaine : problèmes et solutions dans l'entre-deux-guerres », dans : *L'automobile : Son monde et ses réseaux*, sous la dir. d'A.-F. Garçon, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 1998, p. 115-134.
- « Le contexte de la création des laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées (1945-1955) », dans : *L'aventure des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées*, 28 novembre 2002, p. 3-11.
- Guitard, E. et al., « Les irrécupérables », *Tracés* 37 (2019), p. 7-31.
- Guivarch, C. et S. Hallegatte, « Existing infrastructure and the 2°C target », *Climatic Change* 109.3 (2011), p. 801-805.
- Gumuchian, H. et B. Pecqueur, éd., *La ressource territoriale*, Collection Géographie, Paris, Economica : Anthropos, 2007.
- Haas, M. et al., « Waste or valuable resource – a critical European review on re-using and managing tunnel excavation material », *Resources, Conservation and Recycling* 162 (2020), p. 105048.
- Haas, W. et al., « How Circular is the Global Economy ? : An Assessment of Material Flows, Waste Production, and Recycling in the European Union and the World in 2005 », *Journal of Industrial Ecology* 19.5 (2015), p. 765-777.
- Haas, W. et al., « Spaceship earth's odyssey to a circular economy - a century long perspective », *Resources, Conservation and Recycling* 163 (2020), p. 105076.
- Haberl, H. et al., « The Material Stock–Flow–Service Nexus : A New Approach for Tackling the Decoupling Conundrum », *Sustainability* 9.7 (2017), p. 1049.
- Haberl, H. et al., « Stocks, flows, services and practices : Nexus approaches to sustainable social metabolism », *Ecological Economics* 182 (2021), p. 106949.

- Hardt, L. et al., « Untangling the drivers of energy reduction in the UK productive sectors : Efficiency or offshoring? », *Applied Energy* 223 (2018), p. 124-133.
- Harismendy, P., « Du caillou au bitume, le passage à la "route moderne" (1900-1936) », *Annales de Bretagne et des pays de l'Ouest* 106.3 (1999), p. 105-128.
- Harrington, R., « Landscape with bulldozer : machines, modernity and environment in post-war Britain », dans : *Histories of Technology, the Environment and Modern Britain*, sous la dir. de J. Agar et J. Ward, UCL Press, London, 2018, p. 41-61.
- Harvey, D., « What Kind of Geography for What Kind of Public Policy? », *Transactions of the Institute of British Geographers* 63 (1974), p. 18-24.
- *Le nouvel impérialisme*, Penser/Croiser, Paris, Les Prairies ordinaires, 2010.
- *Les limites du capital*, Lignes rouges, Paris, Éditions Amsterdam, 2020.
- Harvey, P., « Cementing Relations : The Materiality of Roads and Public Spaces in Provincial Peru », *Social Analysis* 54.2 (2010), p. 28-46.
- Harvey, P., C. B. Jensen et A. Morita, éd., *Infrastructures and Social Complexity : A Companion*, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017.
- Harvey, P. et H. Knox, *Roads : an anthropology of infrastructure and expertise*, Ithaca ; London, Cornell University Press, 2015.
- Harvey, P. et H. Knox, « The Enchantments of Infrastructure », *Mobilities* 7.4 (2012), p. 521-536.
- Hausknot, D., « Decision, choice, solution : 'agentic deadlock' in environmental politics », *Environmental Politics* 23.3 (2014), p. 357-375.
- « The environmental state and the glass ceiling of transformation », *Environmental Politics* 29.1 (2020), p. 17-37.
- Haycraft, W. R., « History of Construction Equipment », *Journal of Construction Engineering and Management* 137.10 (2011), p. 720-723.
- Hecht, G., « Inside-out Earth : Residues of the Anthropocene in Africa », *Politique africaine* 161162.1 (2021), p. 385-402.
- Henry, E., *Théorie et pratique du mouvement des terres*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1893.
- Henry, O., « Henry Le Chatelier et le taylorisme », *Actes de la Recherche en Sciences Sociales* 133.1 (2000), p. 79-88.
- Heude, H., *Cours de routes & voies ferrées sur chaussées. Professe à l'École nationale des ponts et chaussées*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris et Liège, Béranger, 1912.
- Heyne, W., *Des travaux de terrassement relatifs aux chemins de fer et aux routes*, Paris, Dunod, 1878.
- Hornborg, A., « Towards an ecological theory of unequal exchange : articulating world system theory and ecological economics », *Ecological Economics* 25.1 (1998), p. 127-136.
- *Global Ecology and Unequal Exchange : Fetishism in a Zero-Sum World*, Routledge, 2012.
- « Artifacts have consequences, not agency : Toward a critical theory of global environmental history », *European Journal of Social Theory* 20.1 (2017), p. 95-110.
- *Nature, Society, and Justice in the Anthropocene : Unraveling the Money-Energy-Technology Complex*, Cambridge, Cambridge University Press, 2019.

- Houllier-Guibert, C.-E. et C. Mortelette, « La patrimonialisation de l'héritage industriel comme stratégie de valorisation : Vers la généralisation d'une idéologie territoriale », *Ethnologies* 42.1 (2021), p. 217-234.
- Héran, F., *La ville morcelée : effets de coupure en milieu urbain*, Méthodes et approches, Paris, Economica, 2011.
- « Pour une approche systémique des nuisances liées aux transports en milieu urbain », *Les Cahiers Scientifiques du Transport* 59 (2011), p. 83-111.
- « La remise en cause du tout automobile : » *Flux* 119-120.1 (2020), p. 90-101.
- Huber, M., « Fueling Capitalism : Oil, the Regulation Approach, and the Ecology of Capital », *Economic Geography* 89.2 (2013), p. 171-194.
- Hughes, E. G., *Tables donnant en mètres cubes les volumes des terrassements dans les déblais et les remblais des chemins de fer, canaux, routes, etc.* Librairie scientifique - industrielle, Paris, L. Mathias, 1847.
- Humphrey, C., « Rethinking Infrastructure : Siberian Cities and the Great Freeze of January 2001 », dans : *Wounded Cities*, Routledge, 2003.
- IFEN, *L'environnement en France. Rapport sur l'état de l'environnement en France. Edition 1994-1995*, Paris, Dunod, 1994.
- Ingold, T., *The life of lines*, London ; New York, Routledge, 2015.
- Ioannides, A. M., « Concrete pavement analysis : the first eighty years », *International Journal of Pavement Engineering* 7.4 (2006), p. 233-249.
- Jacobs, J., *Death and Life of Great American Cities*, New York, Random House, 1961.
- Jambard, P., « La construction des grands ensembles, un échec des méthodes fordistes ? Le cas de la Société Auxiliaire d'Entreprises (1950-1973) », *Histoire, économie & société* 28e année.2 (2009), p. 133-147.
- Jantzi, H. et al., « Ajustements géomorphologiques du chenal de la moyenne Garonne en aval de Toulouse au cours des 200 dernières années (sud-ouest, France) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement* 23.2 (2017).
- « Les extractions de granulats dans le lit mineur de la moyenne Garonne toulousaine durant la seconde moitié du xxe siècle », *Sud-Ouest européen* 44 (2017), p. 83-96.
- Jappe, A., *Béton. Arme de construction massive du capitalisme*, Paris, L'échappée, 2020.
- Jarrige, A., *Les cendres volantes. Propriétés. Applications Industrielles*, Paris, Eyrolles, 1971.
- Jarrige, F., S. Le Courant et C. Paloque-Bergès, « Infrastructures, techniques et politiques », *Tracés. Revue de Sciences humaines* 35 (2018), p. 7-26.
- Jarrige, F. et T. Le Roux, « L'invention du gaspillage : métabolisme, déchets et histoire », *Ecologie politique* 60.1 (2020), p. 31-45.
- Jassim, H. S., W. Lu et T. Olofsson, « Determining the environmental impact of material hauling with wheel loaders during earthmoving operations », *Journal of the Air & Waste Management Association* 69.10 (2019), p. 1195-1214.
- Jean, Y. et M. Vanier, *La France : aménager les territoires*, 2ème édition, Collection U, Paris, A. Colin, 2009.
- Joly, J. et H. Chamussy, « Géographie du futur engagé : le port industriel de Fos-sur-Mer », *Revue de géographie alpine* 57.4 (1969), p. 831-848.
- Josephson, P. R., *Industrialized nature : brute force technology and the transformation of the natural world*, Washington [DC], Island Press/Shearwater Books, 2002.

- Kalaora, B. et C. Vlassopoulos, *Pour une sociologie de l'environnement : environnement, société et politique*, L'environnement a une histoire, Seyssel, Champ Vallon, 2013.
- Kenis, A., F. Bono et E. Mathijs, « Unravelling the (post-)political in Transition Management : Interrogating Pathways towards Sustainable Change », *Journal of Environmental Policy & Planning* 18.5 (2016), p. 568-584.
- Kenis, A. et M. Lievens, « Searching for 'the political' in environmental politics », *Environmental Politics* 23.4 (2014), p. 531-548.
- « Greening the Economy or Economizing the Green Project ? When Environmental Concerns Are Turned into a Means to Save the Market », *Review of Radical Political Economics* 48.2 (2016), p. 217-234.
- Kerisel, J. et T. Kerisel, « 1940-1976. Le créateur solitaire : fécondité dans les disciplines les plus diverses », *Bulletin de la Sabix [en ligne]* 28 (2001).
- Knafo, R., « L'aménagement du territoire en économie libérale : l'exemple des stations intégrées de sports d'hiver dans les Alpes françaises », *Espace géographique* 8.3 (1979), p. 173-180.
- Kovanda, J., « Raw material consumption or total material consumption ? Which indicator is better for evaluating material resource consumption and environmental pressure ? », *Environmental Monitoring and Assessment* 192.362 (2020).
- Krausmann, F., D. Wiedenhofer et H. Haberl, « Growing stocks of buildings, infrastructures and machinery as key challenge for compliance with climate targets », *Global Environmental Change* 61 (2020), p. 102034.
- Krausmann, F. et al., « Global socioeconomic material stocks rise 23-fold over the 20th century and require half of annual resource use », *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114.8 (2017), p. 1880-1885.
- Krausmann, F. et al., « From resource extraction to outflows of wastes and emissions : The socioeconomic metabolism of the global economy, 1900–2015 », *Global Environmental Change* 52 (2018), p. 131-140.
- Kérisel, J. et A. Caquot, *Traité de mécanique des sols*, 2ème édition, Paris, Gauthier-Villars, 1949.
- Kroll, G., « An Environmental History of Roadkill : Road Ecology and the Making of the Permeable Highway », *Environmental History* 20.1 (2015), p. 4-28.
- Kuisel, R. F., « "L'American way of life" et les missions françaises de productivité », *Vingtième Siècle. Revue d'histoire* 17 (1988), p. 21-38.
- Labasse, J., « L'aménagement du Rhône », *Le Globe. Revue genevoise de géographie* 125.1 (1985), p. 161-170.
- Labouze, E., *Bâtir avec l'environnement, enjeux écologiques et initiatives industrielles*, Paris, L'Entrepreneur, 1993.
- Labrude, P., P.-A. Antoine et F. Loubette, « Damblain, une base aérienne construite dans l'urgence en vue d'une guerre qui n'a pas eu lieu... », *Actes des 19° Journées d'études vosgiennes* (2018), p. 93-510.
- Lacoste, Y., « Aspects géographiques généraux des industries de la construction », *Annales de Géographie* 68.366 (1959), p. 121-153.
- Lafont, R., *Les autoroutes, Que sais-je ?*, Paris, PUF, 1997.

- Lalanne, L., *Exposé de deux méthodes pour abrégé les calculs de terrassements et des mouvements de terre*, Paris, Dunod, 1879.
- Lamarche, T. et al., « Saisir les processus méso Une approche régulationniste », *Économie appliquée* 1 (2021), p. 13-49.
- Lamb, V., M. Marschke et J. Rigg, « Trading Sand, Undermining Lives : Omitted Livelihoods in the Global Trade in Sand », *Annals of the American Association of Geographers* 109.5 (3 septembre 2019), p. 1511-1528.
- Landel, P.-A. et N. Senil, « Patrimoine et territoire, les nouvelles ressources du développement », *Développement durable et territoires [en ligne]* 12 (2009).
- Landon, N. et H. Piégay, « L'incision d'affluents méditerranéens du Rhône : la Drôme et l'Ardèche », *Géocarrefour* 69.1 (1994), p. 63-72.
- Laperche, B. et D. Uzunidis, « Crise, innovation et renouveau des territoires : dépendance de sentier et trajectoires d'évolution : » *Innovations* 35.2 (2011), p. 159-182.
- Larkin, B., « The Politics and Poetics of Infrastructure », *Annual Review of Anthropology* 42.1 (2013), p. 327-343.
- Larrard, F. de et H. Colina, éd., *Le béton recyclé*, Ouvrages Scientifiques OSI4, Marne-la-Vallée, IFSTTAR, 2018.
- Larsen, T. B. et J. Harrington, « Geographic Thought and the Anthropocene : What Geographers Have Said and Have to Say », *Annals of the American Association of Geographers* (2020), p. 1-13.
- Latour, B., *Face à Gaïa : Huit conférences sur le nouveau régime climatique*, Les empêcheurs de penser en rond, La Découverte, 2015.
- Latour, B. et S. Woolgar, *La vie de laboratoire : la production des faits scientifiques*, Sciences humaines et sociales 18, Paris, La Découverte, 2013.
- Lavolette, J., C. Morency et E. O. D. Waygood, « Persistance de l'automobilité ? Analyse en trois perspectives », *Flux* 119-120.1 (2020), p. 142.
- Lawson, T., *Economics and Reality. Economics As Social Theory*, London, Routledge, 1997.
- Le Bihan, J., « La mobilité professionnelle des conducteurs des Ponts et Chaussées au XIXe siècle », *Histoire, économie & société* 33e année.1 (2014), p. 55-71.
- LeCain, T. J., *Mass Destruction : The Men and Giant Mines That Wired America and Scarred the Planet*, Piscataway, NJ, Rutgers University Press, 2009.
- Leduc, E., *Chaux et ciments*, Encyclopédie Insutrielle, Paris, J.-B. Baillière et fils, 1902.
- Lee, A. et M.-F. Slak, « Les paysages français changent entre 1992 et 2002 : artificialisation et fermeture des paysages aux dépens du mitage ou de la déprise des zones agricoles », *Agreste cahiers* 3 (2007), p. 19-40.
- Lefebvre, H., *Le droit à la ville*, Paris, Anthropos, 1968.
- *La révolution urbaine*, Paris, Gallimard, 1970.
- « Introduction à l'espace urbain », *Metropolis* 22 (1976), p. 24-31.
- *La production de l'espace*, 4ème édition, Paris, Anthropos, 2000 [1974].
- Legoullon, G., « La construction des grands ensembles en France : émergence de nouvelles vulnérabilités environnementales », *Vertigo [en ligne]* 16.3 (2016).
- Lepetit, B., *Chemins de terre & voies d'eau : réseaux de transports et organisation de l'espace en France 1740-1840*, Recherches d'histoire et de sciences sociales 7, Paris, Editions de l'École des hautes études en sciences sociales, 1984.

- Lepetit, B., « L'impensable réseau. Les routes françaises avant les chemins de fer », *FLUX* 2.5 (1986), p. 11-29.
- Lerond, M., « L'industrie et l'environnement. Un mariage de raison », *Études Normandes* 36.2 (1987), p. 108-118.
- Lescure, M., *Immobilier et bâtiment en France (1820-1980) : histoire d'une filière*, Paris, Hatier, 1983.
- Letté, M., « Histoire, cultures et représentations d'une matière-déchet : les mâchefers du XVIIIe siècle à nos jours », *Artefact. Techniques, histoire et sciences humaines* 13 (2021), p. 427-461.
- Levacher, D. et al., « Recyclage et valorisation de sédiments fins de dragage à usage de matériaux routiers », dans : *IXèmes Journées, Brest, Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Editions Paralia, 2006, p. 603-612.
- Limasset, L., *Cours de routes et voies ferrées sur chaussées, chemins vicinaux*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris et Liège, Béranger, 1918.
- Lin, C., G. Liu et D. B. Müller, « Characterizing the role of built environment stocks in human development and emission growth », *Resources, Conservation and Recycling* 123 (2017), p. 67-72.
- Linder, M., *Projecting capitalism : a history of the internationalization of the construction industry*, Greenwood Press, Contributions in Economics and Economic History 158, Westport ; London, 1994.
- Lipietz, A., *Le Tribut Foncier Urbain*, économie et socialisme 6, Paris, François Maspero, 1974.
- *Le Capital et son espace*, économie et socialisme 34, Paris, François Maspero, 1977.
- Loiret, P.-E., « Penser & construire avec les déblais de terre, ressource principale de nos villes. Le cas de Cycle Terre, première fabrique européenne de matériaux issue du recyclage des terres du Grand Paris : Expérience de terrain/retour critique », *Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère [en ligne]* 11 (2021).
- Léon, P., « La conquête de l'espace national », dans : *Histoire économique et sociale de la France, tome 3, premier volume*, sous la dir. de F. Braudel et E. Labrousse, Paris, PUF, 1976, p. 241-274.
- Londres, A., *Terre d'ébène : La traite des Noirs*, Paris, Albin Michel, 1929.
- Lopez, F., *L'ordre électrique. Infrastructures énergétiques et territoires*, vuesDensemble, Genève, MétisPresses, 2019.
- Lordon, F., « La légitimité n'existe pas : Éléments pour une théorie des institutions », *Cahiers d'Économie Politique* 53.2 (2007), p. 135-164.
- éd., *Conflits et pouvoirs dans les institutions du capitalisme*, Gouvernances, Paris, Presses de la Fondation nationale des sciences politiques, 2008.
- *Capitalisme, désir et servitude. Marx et Spinoza*, Paris, La Fabrique, 2010.
- *La société des affects : pour un structuralisme des passions*, L'Ordre philosophique, Paris, Seuil, 2013.
- Lusso, B., « Patrimonialisation et greffes culturelles sur des friches issues de l'industrie minière : Regards croisés sur l'ancien bassin minier du Nord-Pas de Calais (France) et la vallée de l'Emscher (Allemagne) », *EchoGéo [en ligne]* 26 (2013).
- Lysaniuk, B., « Souffler le froid et le chaud », *Communications* 101.2 (2017), p. 159-171.

- Mader, F., « Un exemple de restructuration industrielle : l'oligopole du ciment en France entre 1962 et 1972 », *Revue d'économie industrielle* 4.1 (1978), p. 96-116.
- Magalhães, N., « Les structures cachées des empreintes cachées », *Terrestres. Revue des livres, des idées et des écologies [en ligne]* 20 (2021).
- « The green investment paradigm : Another headlong rush », *Ecological Economics* 190 (2021), p. 1-6.
- « Un mode de vie impérial », dans : *Le Nouveau Monde. Tableau de la France néolibérale*, sous la dir. d'A. Burlaud, A. Popelard et G. Rzepski, Editions Amsterdam, 2021, p. 257-267.
- « Régimes d'accumulation et flux de matières en longue période », dans : *Théorie de la régulation. Un nouvel état des savoirs*, sous la dir. de R. Boyer et al., Dunod, 2023.
- Magalhães, N. et al., « The Physical Economy of France (1830–2015). The History of a Parasite? », *Ecological Economics* 157 (2019), p. 291-300.
- Maguire, J. et B. R. Winthereik, « Living with the earth : More-than-human arrangements in seismic landscapes », dans : *Infrastructures and Social Complexity*, sous la dir. de P. Harvey, C. B. Jensen et A. Morita, Abingdon, Oxon ; New York, NY, Routledge, 2017, p. 161-173.
- Mahieux, P.-Y. et al., « Déchets inertes du BTP : Vers de nouvelles voies de recyclage », dans : Congrès national de la recherche en IUT, Nantes, 2016.
- Maire, G. et S. Lasserre, « Structure et fonctionnement d'un système fluvial déséquilibré par l'intervention anthropique : la Moselle non canalisée à la sortie du massif vosgien », *Mosella XVIII* (1988), p. 39-81.
- Manglou, M., L. Rocher et J.-B. Bahers, « Waste colonialism and metabolic flows in island territories », *Journal of Political Ecology* 29.1 (2022), p. 1-19.
- Martin, J.-Y., « De quoi Lefebvre est-il le nom dans la jeune géographie critique française ? », *NORUS (Novos Rumos Sociologicos)* 4.6 (2016).
- Martinez-Alier, J. et M. Walter, « Social metabolism and conflicts over extractivism », dans : *Environmental governance in latin america*, sous la dir. de F. de Castro, B. Hogenboom et M. Baud, Springer, 2016, p. 58-85.
- Martínez-Rius, B., « For the Benefit of All Men : Oceanography and Franco-American Scientific Diplomacy in the Cold War, 1958–1970 », *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* 43.4 (2020), p. 581-605.
- Marx, L., « L'entretien des routes nationales », *Journal de la société statistique de Paris* 26 (1885), p. 369-386.
- Masse, J., « Les grèves des mineurs et carriers du Var de 1871 à 1921 », *Annales du Midi : revue archéologique, historique et philologique de la France méridionale* 79.82 (1967), p. 195-218.
- Mattioli, G. et al., « The political economy of car dependence : A systems of provision approach », *Energy Research & Social Science* 66 (2020), p. 101486.
- Meadowcroft, J., « From Welfare State to Ecostate », dans : *The State and the Global Ecological Crisis*, sous la dir. de J. Barry et R. Eckersley, MIT Press, 2005, p. 3-23.
- Melin, H., « Loos-en-Gohelle, du noir au vert : » *Multitudes* 52.1 (2013), p. 59-67.
- Merceron-Vicat, L., *Vicat, sa vie et ses travaux. Avec des notes*, Grenoble, Allier frères, 1903.

- Merger, M., « La concurrence rail-navigation intérieure en France 1850-1914 », *Histoire, économie et société* 9.1 (1990), p. 65-94.
- Merlin, P., *L'aménagement du territoire en France*, Les Études, Paris, La Documentation française, 2007.
- Merriman, P. et R. Jones, « Nations, materialities and affects », *Progress in Human Geography* 41.5 (2017), p. 600-617.
- Meulemans, G., « Des hommes qui creusent : suivre le sol en pédologie », dans : *(D)écrire les affects. Perspectives et enjeux anthropologiques*, sous la dir. de L. Mariani et C. Plancke, Anthropologiques, Pétra, 2018, p. 299-325.
- « Fonder les villes : comment les terrassiers comprennent le sol », *Communications* 105.2 (2019), p. 149-159.
- « Solidifying Grounds : The Intricate Art of Foundation Building », *Theory, Culture & Society* 39.2 (2022), p. 75-94.
- Miatto, A. et al., « Modeling material flows and stocks of the road network in the United States 1905–2015 », *Resources, Conservation and Recycling* 127 (2017), p. 168-178.
- Milberg, W. et D. Winkler, « Financialisation and the dynamics of offshoring in the USA », *Cambridge Journal of Economics* 34.2 (2010), p. 275-293.
- Miller, S. A., A. Horvath et P. J. M. Monteiro, « Impacts of booming concrete production on water resources worldwide », *Nature Sustainability* 1.1 (2018), p. 69-76.
- Ministère de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, *Instructions sur les méthodes à suivre pour l'entretien des routes, pour l'exécution des plantations sur les accotements, et pour l'entretien de ces plantations*, Angers, E. Barassé, 1864.
- Ministère des Travaux Publics, *Répertoire des carrières de pierre de taille exploitées en 1889*, Recherches statistiques et expériences sur les matériaux de construction, Paris, Baudry et Cie, 1890.
- Mioche, P., *Le Plan Monnet : Genèse et Élaboration 1941-1947*, Paris, Publications de la Sorbonne, 1987.
- Miquel, P., *Histoire des canaux, fleuves et rivières de France*, Paris, Edition n°1, 1994.
- Mistral, J., « Vingt ans de redéploiement du commerce extérieur », *Economie et statistique* 71.1 (1975), p. 23-40.
- Müller, D. B., « Stock dynamics for forecasting material flows. Case study for housing in The Netherlands », *Ecological Economics* 59.1 (2006), p. 142-156.
- Mol, A. P. J., « The environmental nation state in decline », *Environmental Politics* 25.1 (2016), p. 48-68.
- Mom, G., « Inter-artifactual Technology Transfer : Road Building Technology in the Netherlands and the Competition Between Bricks, Macadam, Asphalt and Concrete », *History and Technology* 20.1 (2004), p. 75-96.
- « Roads without Rails : European Highway-Network Building and the Desire for Long-Range Motorized Mobility », *Technology and Culture* 46.4 (2005), p. 745-772.
- Mom, G. et D. A. Kirsch, « Technologies in Tension : Horses, Electric Trucks, and the Motorization of American Cities, 1900-1925 », *Technology and Culture* 42.3 (2001), p. 489-518.
- Mongear, L., « De la démolition à la production de graves recyclées : analyse des logiques de proximité d'une filière dans l'agglomération lyonnaise », *Flux* 108.2 (2017), p. 64-79.

- Monsaingeon, B., *Homo detritus : critique de la société du déchet*, Anthropocène, Paris, Seuil, 2017.
- Montel, N., « L'organisation du travail sur les chantiers de terrassement. Le cas du percement de l'isthme de Suez », *Culture Technique* 26 (1992), p. 135-145.
- *Le Chantier du canal de Suez, 1859-1869. Une histoire des pratiques techniques*, Paris, Presses de l'École nationale des Ponts et Chaussées, 1998.
- « Faire l'histoire des usages des objets techniques : formules, projets et pratiques. L'exemple des brouettes sur le chantier du canal de Suez (1859-1869) », dans : *Multicultural Science in the Ottoman Empire*, sous la dir. d'E. Ihsanoglu, K. Chatzis et N. Efthymios, De Diversis Artibus 69, Turnhout, Brepols, 2003, p. 173-180.
- « L'État aménageur dans la France de la Seconde Restauration, au prisme du Rapport au roi sur la navigation intérieure de 1820 », *Revue d'histoire moderne et contemporaine* 59.1 (2012), p. 34-61.
- *Écrire et publier des savoirs au XIXe siècle. Une revue en construction : les Annales des ponts et chaussées (1831-1866)*, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2015.
- Moore, J. W., *Capitalism in the web of life : Ecology and the accumulation of capital*, London, Verso Books, 2015.
- Moreau, A., *Traité des chemins de fer. Tome I : infrastructure*, Cours de construction Dixième partie, Paris, Fanchon et Artus, 1898.
- *Traité des chemins de fer. Tome II : superstructure*, Cours de construction Dixième partie, Paris, Fanchon et Artus, 1898.
- Moreau, C., *Le matériel moderne des travaux publics. Tome I : Terrassements*, Encyclopédie Industrielle & Commerciale, Paris, Eyrolles, 1934.
- Mortelette, C., « La patrimonialisation de l'héritage minier dans le Nord-Pas-de-Calais : un outil efficace de réconciliation de la population locale avec son passé? », *Cahiers de la recherche architecturale, urbaine et paysagère [en ligne]* 7 (2020).
- Mukerji, C., « The political mobilization of nature in seventeenth-century French formal gardens », *Theory and Society* 23.5 (1994), p. 651-677.
- « Tacit Knowledge and Classical Technique in Seventeenth-Century France : Hydraulic Cement as a Living Practice among Masons and Military Engineers », *Technology and Culture* 47.4 (2006), p. 713-733.
- *Impossible engineering : technology and territoriality on the Canal du Midi*, Princeton studies in cultural sociology, Princeton, NJ, Princeton University Press, 2009.
- Neiertz, N., *La coordination des transports en France : De 1918 à nos jours*, Comité pour l'histoire économique et financière de la France, Histoire économique et financière - XIXe-XXe, Institut de la gestion publique et du développement économique, 1999.
- Nguyen, T. C. et al., « Estimating the Material Stock of Roads : The Vietnamese Case Study », *Journal of Industrial Ecology* 23.3 (2019), p. 663-673.
- Niang, A., S. Bourdin et A. Torre, « L'économie circulaire, quels enjeux de développement pour les territoires? », *Développement durable et territoires* 11.1 (2020).
- Nivoit, E., *Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur. Tome premier*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1887.
- *Cours de géologie*, 2ème édition, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1898.

- Nogué-Algueró, B., « Growth in the docks : ports, metabolic flows and socio-environmental impacts », *Sustainability Science* 15.1 (2020), p. 11-30.
- Noiriel, G., « La lutte des ouvriers de Longwy contre la restructuration de la sidérurgie française (1979-1980) », dans : *Avenirs et avant-gardes en France XIXe-XXe siècles. Hommage à Madeleine Rebérioux*, sous la dir. de P. Fridenson, TAP / HIST Contemporaine, La Découverte, 1999, p. 211-221.
- Norton, P. D., *Fighting traffic : the dawn of the motor age in the American city*, Inside technology, Cambridge, MA, MIT Press, 2008.
- Néré, J., « Aspect du déroulement des grèves en France durant la période 1883-1889 », *Revue d'histoire économique et sociale* 34.2 (1956), p. 286-302.
- Numa, G., *Réglementations et concurrence dans les chemins de fer français : 1823-1914*, Bibliothèque de l'économiste 1, Paris, Classiques Garnier, 2013.
- Orléan, A., *Le Pouvoir de la finance*, Paris, Odile Jacob, 1999.
- « La sociologie économique et la question de l'unité des sciences sociales », *L'Année sociologique* 55.2 (2005), p. 279-305.
- *L'empire de la valeur : refonder l'économie*, Couleur des idées, Paris, Seuil, 2011.
- Orlemann, E. C., *Caterpillar chronicle : the history of the world's greatest earthmovers*, St. Paul, Minnesota, Motorbooks, 2009.
- Page, A., « Guerres et fertilisation : essor des engrais azotés en France et en Grande-Bretagne, 1918-1960 », dans : *Histoire des modernisations agricoles au XXe siècle*, sous la dir. de C. Bonneuil, L. Humbert et M. Lyautey, Rennes, Presses universitaires de Rennes, 2021, p. 39-52.
- Passaqui, J.-P., « Agglomérés, agglomérer : Valoriser les charbons non marchands, en Europe, au XIXe siècle », *e-Phaïstos* VII.2 (2019).
- Pauliuk, S. et D. B. Müller, « The role of in-use stocks in the social metabolism and in climate change mitigation », *Global Environmental Change* 24 (2014), p. 132-142.
- Peaucelle, J.-L., « Vauban, la normalisation du travail avant Taylor ? », *Gérer et Comprendre* 87 (2007), p. 48-60.
- Peiry, J.-L. et F. Nouguié, « Le Drac dans l'agglomération de Grenoble : première évaluation des changements géomorphologiques contemporains », *Revue de géographie alpine* 82.2 (1994), p. 77-96.
- Peiry, J.-L., P.-G. Salvador et F. Nouguié, « L'incision des rivières dans les Alpes du nord : état de la question », *Revue de géographie de Lyon* 69.1 (1994), p. 47-56.
- Perdonnet, A., *Traité élémentaire des chemins de fer. Tome I*, 3ème édition, Paris, Garnier frères, 1865.
- Perkins, H. C., « Bulldozers in the Southern Part of Heaven : Defending Place against Rapid Growth. Part 1 : Local Residents' Interpretations of Rapid Urban Growth in a Free-Standing Service-Class Town », *Environment and Planning A : Economy and Space* 20.3 (1988), p. 285-308.
- « Bulldozers in the Southern Part of Heaven : Defending Place against Rapid Growth. Part 2 : The Alliance Strikes Back », *Environment and Planning A : Economy and Space* 20.4 (1988), p. 435-456.
- Pessis, C., « Histoire des « sols vivants » », *Revue d'anthropologie des connaissances* 14.4 (2020).

- Pessis, C., S. Topçu et C. Bonneuil, éd., *Une autre histoire des "Trente Glorieuses" : modernisation, contestations et pollutions dans la France d'après-guerre*, Cahiers libres, Paris, La Découverte, 2013.
- Petit, P., « Formes structurelles et régimes de croissance de l'après fordisme », *L'année de la régulation* 2 (1998), p. 169-196.
- Pichler, M., U. Brand et C. Görg, « The double materiality of democracy in capitalist societies : challenges for social-ecological transformations », *Environmental Politics* 29.2 (2020), p. 193-213.
- Picon, A., *L'invention de l'ingénieur moderne : l'École des ponts et chaussées, 1747-1851*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 1992.
- Piquet, C., « Le canal de Suez face aux évolutions de la marine marchande : un siècle et demi de défis techniques », *Artefact* 10 (2019), p. 175-191.
- Pitron, G., *La guerre des métaux rares. La face cachée de la transition énergétique et numérique*, Paris, Les Liens qui Libèrent, 2018.
- Pliskin, L., « Le béton », *Culture Technique* 26 (1992), p. 58-64.
- Polanyi, K., *La subsistance de l'homme. La place de l'économie dans l'histoire et la société*, Paris, Flammarion, 2011.
- Poncet, A., « Routes forestières et érosion en montagne », *Revue Forestière Française* 4 (1964), p. 267-285.
- Pontzen, E., *Procédés généraux de construction : travaux de terrassement, tunnels, dragages et dérochements*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, J. Baudry et Cie, 1891.
- Poste, A., « Le retour à la terre des bétonneurs », *Terrestres. Revue des livres, des idées et des écologies* 17 (2020).
- Pouvreau, B., « La politique d'aménagement du territoire d'Eugène Claudius-Petit », *Vingt-tième Siècle. Revue d'histoire* 3.79 (2003), p. 43-52.
- Pérez-Rincón, M., J. Vargas-Morales et Z. Crespo-Marín, « Trends in social metabolism and environmental conflicts in four Andean countries from 1970 to 2013 », *Sustainability Science* 13.3 (2018), p. 635-648.
- Price, S. J. et al., « Humans as major geological and geomorphological agents in the Anthropocene : the significance of artificial ground in Great Britain », *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369.1938 (2011), p. 1056-1084.
- Pritchard, S. B., *Confluence. The Nature of Technology and the Remaking of the Rhône*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2011.
- Raggi, P., « Industrialisation, désindustrialisation, ré-industrialisation en Europe : Le cas de la sidérurgie lorraine (1966-2006) », *Rives méditerranéennes* 46 (2013), p. 11-28.
- Rannou, H., « De la vase aux pavés, la grève des terrassiers havrais en 1900 », *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique* 125 (2014), p. 21-32.
- Raulin, H., « Les carriers et les tailleurs de grès de la région parisienne », *Arts et traditions populaires* 3 (1961), p. 193-248.
- Reinhard, Y., « Pollution des eaux. Cour d'appel de Rouen (Ch. corr.) 21 octobre 1982. Avec commentaire », *Revue Juridique de l'Environnement* 2 (1983), p. 151-163.
- Revel, J., « Histoire et sciences sociales : les paradigmes des Annales », *Annales. Histoire, Sciences Sociales* 34.6 (1979), p. 1360-1376.

- Reverdy, G., *Histoire des routes de France*, Que sais-je ?, Paris, PUF, 1995.
- *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, t. 2, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 2007.
- Revol, C., « Le succès de Lefebvre dans les *urban studies* anglo-saxonnes et les conditions de sa redécouverte en France : » *L'Homme & la Société* 185-186.3 (2013), p. 105-118.
- Ribeill, G., « Aspects du développement du réseau ferré français sur la longue durée. L'approche historique », *Cahier / Groupe Réseaux* 1.1 (1985), p. 10-25.
- « Du pneumatique à la logistique routière. André Michelin, promoteur de la « révolution automobile » », *Culture Technique* 19 (1989), p. 191-204.
- Ribeiro, G., « La genèse de la géohistoire chez Fernand Braudel : un chapitre de l'histoire de la pensée géographique : » *Annales de géographie* 686.4 (2012), p. 329-346.
- Rinaudo, Y., « Les campagnes méditerranéennes : de la Terre au Paysage », *Méditerranée* 83.1 (1996), p. 43-52.
- Rochel, X., A. Hecker et J.-P. Husson, « Les tranchées routières dans la France de l'Est au XVIIIe siècle : Contribution géohistorique à la question de l'insécurité rurale », *Histoire & Sociétés Rurales* 53.1 (2020), p. 67-92.
- Rojas, L., « Construire et diffuser le savoir des ingénieurs civils des mines : le Bulletin de la Société de l'industrie minérale (1855-1914) », *Philosophia Scientiae* 22.1 (2018), p. 185-201.
- « Francis Blache et la fabrication des sous-produits de la houille : entre veille et expérimentation », *Technologie et innovation* 6.4 (2021).
- Rolland, A., *Détermination exacte de la distance moyenne des transports dans le calcul des terrassements des projets de route*, Nîmes, Clavel-Ballivet et Cie, 1865.
- Rollet, A.-J., H. Piégay et A. Citterio, « Impact des extractions de graviers dans le lit mineur sur la géométrie des zones aquatiques périfluviales du Doubs (France) », *Géographie physique et Quaternaire* 60.3 (2006), p. 253-269.
- Rome, A., *The Bulldozer in the Countryside : Suburban Rise of American Environmentalism*, Cambridge, Cambridge University Press, 2001.
- Ross, K., *Rouler plus vite, laver plus blanc : modernisation de la France et décolonisation au tournant des années soixante*, L'atelier des idées, Paris, Flammarion, 2006.
- Rotor, éd., *Déconstruction et réemploi : comment faire circuler les éléments de construction*, Lausanne, Presses polytechniques et universitaires romandes, 2018.
- Rozenberg, J., A. Vogt-Schilb et S. Hallegatte, « Instrument choice and stranded assets in the transition to clean capital », *Journal of Environmental Economics and Management* 100 (2020), p. 102183.
- Røpke, I., « The early history of modern ecological economics », *Ecological Economics* 50.3 (2004), p. 293-314.
- Ruelle, H., *Note relative aux chemins de fer à bon marché et d'intérêt local*, Paris, Dunod, 1868.
- Sauterey, R. et P. Autret, éd., *Guide d'auscultation des chaussées souples*, Paris, Eyrolles, 1977.
- Savy, A.-C., M. N'Diaye et M.-E. Kessari, « Le dispositif français de transition vers l'économie circulaire institutionnalise-t-il un concept ? Une analyse transversale de discours. », *Technologie et innovation* 4.2 (2019), p. 1-25.

- Schaffartzik, A. et al., « Global patterns of metal extractivism, 1950–2010 : Providing the bones for the industrial society's skeleton », *Ecological Economics* 122 (2016), p. 101-110.
- Schandl, H. et A. Miatto, « On the importance of linking inputs and outputs in material flow accounts. The Weight of Nations report revisited », *Journal of Cleaner Production* 204 (2018), p. 334-343.
- Schandl, H. et N. Schulz, « Changes in the United Kingdom's natural relations in terms of society's metabolism and land-use from 1850 to the present day », *Ecological Economics* 41.2 (2002), p. 203-221.
- Scheidel, A. et al., « Environmental conflicts and defenders : A global overview », *Global Environmental Change* 63 (2020), p. 102104.
- Scheurer, F., « Histoire des centrales thermiques de 1946 à 1980 », *Bulletin d'histoire de l'électricité* 10.1 (1987), p. 121-142.
- Schiller, G., F. Müller et R. Ortlepp, « Mapping the anthropogenic stock in Germany : Metabolic evidence for a circular economy », *Resources, Conservation and Recycling* 123 (2017), p. 93-107.
- Serrenho, A. C., J. B. Norman et J. M. Allwood, « The impact of reducing car weight on global emissions : the future fleet in Great Britain », *Philosophical Transactions of the Royal Society A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 375.2095 (2017), p. 20160364.
- Seto, K. C. et al., « Carbon Lock-In : Types, Causes, and Policy Implications », *Annual Review of Environment and Resources* 41.1 (2016), p. 425-452.
- Sherlock, L., *Man as a Geological Agent : An Account of His Actions on Inanimate Nature*, London, H. F. & G. Witherby, 1922.
- Shorter, E. L. et C. Tilly, « Le déclin de la grève violente en France de 1890 à 1935 », *Le Mouvement social* 76 (1971), p. 95-118.
- Simonetti, C. et T. Ingold, « Ice and Concrete : Solid Fluids of Environmental Change », *Journal of Contemporary Archaeology* 5.1 (2018), p. 19-31.
- Simonin, J.-P. et F. Vatin, éd., *L'oeuvre multiple de Jules Dupuit (1804-1866), Calcul d'ingénieur, analyse économique et pensée sociale*, Angers, Presses universitaires d'Angers, 2002.
- Simonnet, C., *Le Béton, histoire d'un matériau. Économie, technique, architecture*, Paris, Editions Parenthèses, 2005.
- « Le béton à l'âge du faire », dans : *Sacré béton !*, sous la dir. de P. Genestier et P. Gras, Libel, 2015, p. 94-101.
- Smil, V., *Making the modern world : materials and dematerialization*, Chichester, West Sussex, John Wiley & Sons, 2014.
- Spash, C. L., éd., *Routledge Handbook of Ecological Economics : Nature and Society*, Routledge international handbooks, London ; New York, Routledge, 2017.
- Steffen, W. et al., « The trajectory of the Anthropocene : the great acceleration », *The Anthropocene Review* 2.1 (2015), p. 81-98.
- Steiner, P., *La sociologie de Durkheim*, Paris, La Découverte, 2005.
- Stinchcombe, A. L., *Constructing Social Theories*, New York, Hartcourt, Brace & World, 1968.
- Streeck, J. et al., « Stock-flow relations in the socio-economic metabolism of the United Kingdom 1800–2017 », *Resources, Conservation and Recycling* 161 (2020), p. 1-12.

- Streeck, J. et al., « The role of socio-economic material stocks for natural resource use in the United States of America from 1870 to 2100 », *Journal of Industrial Ecology* (2021), p. 1-17.
- Supiot, A., *La gouvernance par les nombres : cours au Collège de France, 2012-2014*, Paris, Pluriel, 2020.
- Tanikawa, H. et al., « The Weight of Society Over Time and Space : A Comprehensive Account of the Construction Material Stock of Japan, 1945-2010 », *Journal of Industrial Ecology* 19.5 (2015), p. 778-791.
- Taroux, J.-P., « Estimation de la valeur du capital des infrastructures de transport », *Synthèse de l'OEEST* 78 (1994), p. 21-24.
- Taylan, F., *Mésopolitique : connaître, théoriser et gouverner les milieux de vie, 1750-1900*, Homme et société 3, Paris, Publications de la Sorbonne, 2018.
- Taylor, F. W. et S. E. Thompson, *A treatise on concrete. Plain and reinforced*, 1st edition, New York, John Wiley & Sons, 1907.
- *Concrete costs*, 1st edition, New York, John Wiley & Sons, 1912.
- Temper, L., D. del Bene et J. Martinez-Alier, « Mapping the frontiers and front lines of global environmental justice : the EJAtlas », *Journal of Political Ecology* 22 (2015), p. 255-278.
- Terzaghi, K., *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage*, Leipzig - Vienna, Franz Deuticke, 1925.
- *Mécanique théorique des sols*, Paris, Dunod, 1951.
- Thoening, J.-C., *L'Ère des technocrates : le cas des Ponts et chaussées*, Sociologie des organisations, Paris, Éditions d'Organisation, 1973.
- Thomas, W. L., éd., *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago, University of Chicago Press, 1956.
- Théret, B., « À propos du rôle de l'État dans la mise en œuvre des infrastructures de transport et de communication en France de 1815 à 1939 [Les théories confrontées à l'histoire et à la mesure.] », *Histoire & Mesure* 10.1 (1995), p. 149-197.
- « Institutionnalismes et structuralismes : oppositions, substitutions ou affinités électives ? », *Cahiers d'économie Politique* 44.1 (2003), p. 51-78.
- Topalov, C., *Les Promoteurs immobiliers : contribution à l'analyse de la production capitaliste du logement en France*, La Recherche urbaine, Paris, 1973.
- Tordjman, H., *La croissance verte contre la nature : critique de l'écologie marchande*, Paris, La Découverte, 2021.
- Touret, P., « Ports français. Les mutations », *Outre-Terre* 33-34.3 (2012), p. 321.
- « Les grandes mutations des flottes océaniques, une approche géographique du gigantisme naval », *Bulletin de l'association de géographes français. Géographies* 90.4 (2013), p. 428-440.
- Touze-Foltz, N., « Les géosynthétiques, itinéraire d'une recherche partagée », *Sciences Eaux & Territoires* 18.1 (2016), p. 6-9.
- Tsing, A. L., *Le champignon de la fin du monde : sur la possibilité de vivre dans les ruines du capitalisme*, Les Empêcheurs de penser en rond, Paris, La Découverte, 2017.
- Untermaier, J., « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (1ere partie) », *Revue Juridique de l'Environnement* 19.1 (1994), p. 5-36.

- « Les carrières, l'environnement et la loi du 4 janvier 1993 (suite) », *Revue Juridique de l'Environnement* 19.2 (1994), p. 175-208.
- Vacant, C., *Du cantonnier à l'ingénieur : les métiers de la route au fil des siècles*, Paris, Presses de l'École nationale des ponts et chaussées, 2001.
- Vacher, H., « L'École spéciale des travaux publics et le projet de l'ingénieur-architecte au début du XXe siècle, 1901-1939 », dans : *Formation au travail et enseignement technique*, Actes du 127e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Paris, Editions du CTHS, 2005, p. 65-85.
- Vallemont, S., « Mémoires », dans : *L'aventure des Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées*, 28 novembre 2002, p. 53-64.
- Van Balen, K., « Contribution to the Understanding of the Lime Cycle during History in Western Europe », *Aardk. Mededel.* 13 (2003), p. 81-90.
- Vanpeene-Bruhier, S. et I. Delory, « Réaménagement agricole des carrières de granulats : propositions d'amélioration de leur qualité pour une utilisation agricole durable », *Ingénieries* 24 (2000), p. 33-43.
- Vatin, F., « Jules Dupuit (1804-1866) et l'utilité publique des transports, actualité d'un vieux débat : Conférence donnée aux membres de l'AHICF à l'occasion de leur assemblée générale, le 27 mars 2003 », *Revue d'histoire des chemins de fer* 27 (2003), p. 39-56.
- « L'esprit d'ingénieur : pensée calculatoire et éthique économique », *Revue Française de Socio-Économie* 1.1 (2008), p. 131-152.
- *Évaluer et valoriser : une sociologie économique de la mesure*, Toulouse, Presses Universitaires du Mirail, 2009.
- Vayssière, B., *Reconstruction-déconstruction. Le "hard french" ou l'architecture des Trente Glorieuses*, Paris, Picard, 1988.
- Verdier, N., « Modeler le territoire : les ingénieurs des Ponts et Chaussées (fin 18e - début 19e siècles) », dans : *Les usages des cartes (XVIIe-XIXe siècle), pour une approche pragmatique des productions cartographiques*, Sciences de l'Histoire, Strasbourg, Presses Universitaires de Strasbourg, 2008, p. 51-66.
- Vernhes, J.-D., « Grands travaux d'aménagement du vallon de Marly », *Bulletin du Centre de recherche du château de Versailles*, Sociétés de cour en Europe, XVIe-XIXe siècle (2017).
- Veyne, P., *Comment on écrit l'histoire*, L'Univers historique, Paris, Seuil, 1978.
- Vicat, L.-J., « Recherches expérimentales sur les chaux de construction, les bétons et les mortiers ordinaires », *Conseil des Ponts et Chaussées et Académie Royale des Sciences* (1818).
- Vidal-Beaudet, L. et J.-P. Rossignol, « Urban Soils : Artificialization and Management », dans : *Soils as a Key Component of the Critical Zone 5*, sous la dir. de C. Valentin, Hoboken, NJ, John Wiley & Sons, Inc., 2018, p. 189-210.
- Vigarié, A., « Les ports de commerce français de 1965 à 1983 », *Norois* 121.1 (1984), p. 15-29.
- Vilain, M., « Irrigants et carriers, un conflit à l'issue exemplaire dans l'Ouest Lyonnais », *Économie rurale* 134.1 (1979), p. 19-28.
- Villard, P. et L. Briançon, *Le renforcement des sols : des techniques devenues indispensables*, dans : *Encyclopédie de l'Environnement [en ligne]*, 2022.

- Vincent, L.-A., « La productivité dans les industries du bâtiment et des travaux publics [1949-1962] », *Etudes et conjoncture - Institut national de la statistique et des études économiques* 19.10 (1964), p. 61-93.
- « Visite de l'aménagement de Vallabrègues », dans : *Compte-rendu des onzièmes journées de l'hydraulique (22-24 septembre 1970)*, Utilisation des ressources en eau d'un bassin dans le cadre de l'aménagement du territoire, t. 2, Paris, 1971.
- Vénuat, M., *Ciments et bétons*, 3ème édition, Paris, PUF, 1978.
- Voldman, D., *La reconstruction des villes françaises de 1940 à 1954. Histoire d'une politique*, Paris, L'Harmattan, 1997.
- Wachter, S., « Ajustements et recentrage d'une politique publique : le cas de l'aménagement du territoire », *Sociologie du travail* 31.1 (1989), p. 51-74.
- Wallerstein, I., *Comprendre le monde : introduction à l'analyse des systèmes-monde*, Paris, La Découverte, 2006.
- Wang, H. et al., « Total Material Requirement of Growing China : 1995–2008 », *Resources* 2.3 (2013), p. 270-285.
- Weber, M., *Essais sur la théorie de la science*, Paris, Pocket, 1992.
- Weiner, D. R., « A Death-Defying Attempt to Articulate a Coherent Definition of Environmental History », *Environmental History* 10 (2005), p. 404-420.
- Wells, C. W., *Car Country : An Environmental History*, University of Washington Press, 2012.
- Wiedenhofer, D. et al., « Maintenance and Expansion : Modeling Material Stocks and Flows for Residential Buildings and Transportation Networks in the EU25 : Stocks and Flows in the EU25 », *Journal of Industrial Ecology* 19.4 (2015), p. 538-551.
- Wiedenhofer, D. et al., « Integrating Material Stock Dynamics Into Economy-Wide Material Flow Accounting : Concepts, Modelling, and Global Application for 1900–2050 », *Ecological Economics* 156 (2019), p. 121-133.
- Wilson, A., « La terre est dans le grain », *Tracés* 17 (2016).
- Winiwarter, V., « Environmental History of Soils », dans : *The Basic Environmental History*, sous la dir. de M. Agnoletti et S. Neri Serneri, Environmental History, Cham, Springer International Publishing, 2014, p. 79-119.
- Winner, L., « Upon Opening the Black Box and Finding It Empty : Social Constructivism and the Philosophy of Technology », *Science, Technology, & Human Values* 18.3 (1993), p. 362-378.
- Wohl, E., « Wilderness is dead : Whither critical zone studies and geomorphology in the Anthropocene ? », *Anthropocene* 2 (2013), p. 4-15.
- Wright, W., « Geophysical Agency in the Anthropocene : Engineering a Road and River to Rocky Mountain National Park », *Environmental History* 22.4 (2017), p. 668-695.
- Zalasiewicz, J. et al., « Stratigraphy of the Anthropocene », *Philosophical Transactions : Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369.1938 (2011), p. 1036-1055.
- Zaninetti, J.-M. et K. Mathewson, « La contribution singulière de Carl Sauer à l'émergence d'une sensibilité écologique en géographie », dans : *Manifeste pour une géographie environnementale*, Académique, Paris, Presses de Sciences Po, 2016, p. 205-226.

Mémoires universitaires

- Adam, M., « La production de l'urbain durable. L'enrôlement des concepteurs et des habitants par l'intégration des contradictions », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université François – Rabelais de Tours, 2016.
- Agostini, F., « Inertage et valorisation des sédiments de dragage marins », Thèse de doctorat en génie civil, École Centrale de Lille, 2006.
- Augiseau, V., « La dimension matérielle de l'urbanisation. Flux et stocks de matériaux de construction en Ile-de-France », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2017.
- Azrar, H., « Contribution à la valorisation des sédiments de dragage portuaire : technique routière, béton et granulats artificiels », Thèse de doctorat en génie civil, École des Mines Douai et Université de Lille I, 2014.
- Bahers, J.-B., « Dynamiques des filières de récupération-recyclage et écologie territoriale : l'exemple du traitement des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) en Midi-Pyrénées », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Toulouse 2 Le Mirail, 2012.
- Barles, S., « La pédosphère urbaine : le sol de Paris XVIIIe-XXe siècles », Thèse de doctorat en urbanisme et aménagement, École Nationale des Ponts et Chaussées, 1993.
- Bécot, R., « Syndicalisme et environnement en France de 1944 aux années quatre - vingt », Thèse de doctorat en histoire, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 2015.
- Bellagh, K., « Valorisation des sols urbains faiblement pollués dans les travaux de terrassement : le devenir des polluants dans les sols traités compactés », Thèse de doctorat en géotechnique et environnement, Université Paris-Est, 2017.
- Berland-Berthon, A., « La démolition des ensembles de logements sociaux : l'urbanisme entre scènes et coulisses », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Bordeaux III - Michel de Montaigne, 2004.
- Blanchard, C. S., « Changing the Face of the Earth : The Morrison– Knudsen Corporation as Partner to the U.S. Federal Government », Ph. D. thesis in Urban Studies, Portland State University, 2014.
- Blanck, G., « Utilisation de produits non traditionnels pour le traitement des matériaux de terrassement : impact sur les propriétés géotechniques et bilan environnemental », Thèse de doctorat en mécanique et génie civil, Université de Lorraine, 2013.
- Bognon, S., « Les transformations de l'approvisionnement alimentaire dans la métropole parisienne. Trajectoire socio-écologique et construction de proximités », Thèse de doctorat en géographie et aménagement du territoire, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2014.

- Bortoli, A. de, « Pour un entretien routier durable. Prise en compte des conséquences de l'interaction chaussée-véhicule dans l'aide à la décision des politiques de resurfacement. Illustration par un cas autoroutier français », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université Paris-Est, 2018.
- Bousselmi, D., « Les emprunts tunisiens et les investissements publics : 1920-1956 », Thèse de doctorat en économies et finances, Université de Bordeaux et Université de Tunis, 2016.
- Boutouil, M., « Traitement des vases de dragage par solidification/stabilisation à base de ciment et additifs », thèse de doct., Université du Havre, 1998.
- Chalmeton, H., « Préservation de l'environnement et travaux publics. Difficultés pratiques et solutions juridiques », Thèse de doctorat en droit public, Université de Nantes, 2007.
- Charlier, B., « La défense de l'environnement : entre espace et territoire. Géographie des conflits environnementaux déclenchés en France depuis 1974 », Thèse de doctorat en géographie, Université de Pau et des Pays de l'Adour, 1999.
- Chauveau, T., « Planification, construction routière et autoroutière en France de 1900 à 1974 », thèse de doct., École nationale des chartes, 2018.
- Chenot, J., « Réhabilitation écologique d'écosystèmes dégradés par l'exploitation des carrières : faire avec, refaire ou laisser faire la nature ? », Thèse de doctorat en écologie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse, 2018.
- Colin, D., « Valorisation de sédiments fins de dragage en technique routière », Thèse de doctorat en génie civil, Université de Caen - Basse-Normandie, 2003.
- Cornut, B., « Le Peak car en Ile-de-France : Etude de l'évolution de la place de l'automobile et de ses déterminants chez les franciliens depuis les années 1970 », Thèse de doctorat en sociologie, Université Paris-Est, 2017.
- Dione, M., « Les enjeux des politiques et les techniques des travaux publics en Afrique du Nord 1939-1962. La politique des plans d'équipement et de modernisation. Contribution à l'histoire de la colonisation française en Afrique du Nord », Thèse de doctorat en histoire, Université de Paris 8, 1995.
- Druguet, A., « De l'invention des paysages à la construction des territoires : les terrasses des Ifugaos (Philippines) et des Cévenols (France) », Thèse de doctorat en anthropologie de l'environnement, Museum National d'Histoire Naturelle, 2010.
- Duran, J. D., « Building the Modern World : Morrison-Knudsen Construction Company », Master thesis, Boise State University, 2013.
- Durey, L., « Le rôle des imaginaires dans la production d'un espace, une sociohistoire de deux siècles d'aménagement du Rhône », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Jean Monnet, 2019.
- Esculier, F., « Le système alimentation/excrétion des territoires urbains : régimes et transitions socio-écologiques », Thèse de doctorat en sciences et techniques de l'environnement, Université Paris-Est, 2018.
- Fernandez, M., « Approche topographique historique du sous-sol parisien (1800 - 2000). La ville épaisse : genèse et évolutions morphologiques », Thèse de doctorat en histoire des techniques et urbanisme, Conservatoire national des arts et métiers, 2014.
- Flaminio, S., « (Se) représenter les barrages : (a)ménagement, concessions et controverses », Thèse de doctorat en géographie, Université de Lyon, 2018.

- Foucher, J., « Valorisation des déblais sableux de dragage portuaire en France métropolitaine », TFE, ENTPE, 2005.
- Fresso, J.-B., « « La fin du monde par la science ». Innovations, risques, régulations, de l'inoculation à la machine à vapeur. », Thèse de doctorat en histoire, École des Hautes Études en Sciences Sociales et Institut Universitaire Européen, 2009.
- Gasnier, H., « Construire en terres d'excavation, un enjeu pour la ville durable », Thèse de doctorat en SHPT / Architecture, Université Grenoble Alpes, 2019.
- Gaudreau, L., « La fixation du capital dans la propriété foncière. Etude de l'évolution des conditions spatiales de la reproduction du capitalisme », Thèse de doctorat en sociologie, Université du Québec, 2013.
- Georgeault, L., « Le potentiel d'écologie industrielle en France : approche territoriale et éléments de réalisation », Thèse de doctorat en géographie et aménagement, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2015.
- Jas, N., « "L'agriculture est une science chimique!" Eléments pour une histoire comparée des sciences agronomiques allemandes et françaises de la seconde moitié du dix-neuvième siècle », Thèse de doctorat en histoire, Institut Universitaire Européen, 1997.
- Labrousse, A., « L'institutionnalisme historique comme épistémologie pragmatique. Industries, développement, savoirs », Mémoire pour l'habilitation à diriger des recherches, Université de Picardie Jules Verne, 2018.
- Legrand, M., « La mise en ordre écologique des parcs urbains : Savoirs, pratiques et paysages (Exemple d'un grand parc francilien) », Thèse de doctorat en anthropologie de l'environnement, Muséum National d'Histoire Naturelle, 2015.
- Magnan, M., « La production et la gestion de l'espace portuaire à vocation industrielle et logistique. Les grands ports maritimes français : gestionnaires d'espaces infrastructuraux », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2016.
- Mallard, F., « Développement d'une méthode d'évaluation quantitative des effets des projets d'infrastructures de transport terrestre sur les milieux naturels », Thèse de doctorat en génie civil, École Centrale de Nantes, 2014.
- Mamehara, K., « Du Plan Monnet au Plan Bettencourt : comment ont évolué la politique charbonnière et la politique énergétique dans les Trente glorieuses ? », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2016.
- Marrec, A., « Histoire des énergies renouvelables en France, 1880-1990 », Thèse de doctorat en histoire des sciences et des techniques, Université de Nantes, 2018.
- Martaud, T., « Evaluation environnementale de la production de granulats en exploitation de carrières - Indicateurs, Modèles et Outils », Thèse de doctorat en sciences de l'univers, Université d'Orléans, 2008.
- Mimoun, D., « Spatialisation de l'information : une aide à l'analyse hydraulique et paysagère développée lors de la réhabilitation des sites post-industriels - Cas des réaménagements des gravières en eau en milieu alluvionnaire », Thèse de doctorat en science de la terre et de l'environnement, Université Jean Monnet, 2004.
- Montealegre, A. A., « A global history of the road. Road construction, maintenance and use in Colombia, Argentina, French West Africa, and the Algerian Sahara, 1930-1970 », Ph. D. thesis in History, King's College London, 2019.

- Nabet, F., « Etude du réajustement du lit actif en Loire moyenne, bilan géomorphologique et diagnostic du fonctionnement des chenaux secondaires en vue d'une gestion raisonnée », Thèse de doctorat en géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2013.
- Okalla Bana, E.-C., « L'industrie française du terrassement (1830-1991) », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 2010.
- Plat, E., « La naissance du mouvement social dans le midi aquitain 1870-1914 », Thèse de doctorat en histoire, Pau : Université de Pau et des Pays de l'Adour, 2020.
- Pottier, A., « L'économie dans l'impasse climatique : développement matériel, théorie immatérielle et utopie auto-stabilisatrice », Thèse de doctorat en économie, École des Hautes Études en Sciences Sociales, 2014.
- Raimbault, N., « Gouverner le développement logistique de la métropole : périurbanisation, planification et compétition métropolitaine. Le cas du Bassin parisien et éclairages étrangers », Thèse de doctorat en aménagement et urbanisme, Université Paris-Est, 2014.
- Resendiz-Vazquez, A., « L'industrialisation du bâtiment. Le cas de la préfabrication dans la construction scolaire en France (1951-1973) », Thèse de doctorat en histoire des techniques et de l'environnement, Conservatoire national des arts et métiers, 2010.
- Roberts, J. C., « The evolution of discursive story-lines during socio-technical transitions. An analytical model applied to British and American road and rail transport during the twentieth century », Ph. D. thesis in Humanities, University of Manchester, 2015.
- Rocher, L., « Gouverner les déchets. Gestion territoriale des déchets ménagers et participation publique », Thèse de doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Tours François Rabelais, 2006.
- Rousseau, S., « Economie et Environnement : Une analyse régulationniste de la rente environnementale », Thèse de doctorat en économie, Université de Lille I, 2002.
- Saussaye, L., « Traitement des sols aux liants hydrauliques : aspects géotechniques et physico-chimiques des perturbations de la solidification », Thèse de doctorat en chimie des matériaux, Université de Caen, 2012.
- Schenk, T., « Le béton armé en France, 1889 - 1914. Expression architecturale d'un nouveau système technologique de construction », Mémoire de maîtrise en histoire de l'art, Université de Laval, 2007.
- Setzepfandt, D., « Le territoire du rail dans le paysage de l'agglomération de Tours (1832-1991) », Mémoire de M2, Université François Rabelais, 2008.
- Troch, K., « Ne pas grever l'avenir au bénéfice du présent. Une histoire environnementale de l'extraction du charbon de la fin du 18e siècle à l'Entre-deux-guerres : un développement non soutenable. L'exemple du Couchant de Mons et du Valenciennois », Thèse de doctorat en histoire contemporaine, Université de Namur et Université de Lille, 2018.
- Villain, V., « Sociologie du champ de la construction en terre crue en France (1970-2020) », Thèse de doctorat en science politique, Université Lyon II, 2020.
- Zembri-Mary, G., « Maillage autoroutier et territoire. Permanences et mutations du modèle de développement du réseau autoroutier français », Thèse de doctorat en transport, École Nationale des Ponts et Chaussées, 1999.
- Zimmer, A., « Brouillards mortels. [Une histoire de la production de météores industriels, 19e/20e siècles. Le cas de la vallée de la Meuse.] », Thèse de doctorat en épistémologie et histoire des sciences et des techniques, Université de Strasbourg, 2013.

Rapports et études

- ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2012*, Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie, 2012.
- *Économie circulaire - Un atout pour relever le défi de l'aménagement durable des territoires*, 2017.
- *Déchets chiffres-clés. Édition 2020*, Agence de la transition écologique, 2020.
- ADEME et Bio by Deloitte, *Bilan National du Recyclage 2005-2014*, ADEME, mai 2017.
- ADEME, RFF et SNCF, *1er Bilan carbone ferroviaire global*, 2009.
- Analyse comparative des méthodes d'évaluation des grandes infrastructures de transport*, n°2005-0353-01, Paris : Conseil général des Ponts et Chaussées, juillet 2005.
- ANRED, *Pour une France propre. Les départements contre les déchets sauvages*, décembre 1981.
- *Les déchets en France*, 1991.
- Arnal, C., *Approvisionnement en granulats de la région parisienne à l'horizon 1985*, n°76 SGN 321 MTX, BRGM, juillet 1976.
- Augiseau, V. et S. Barles, *Bilan de flux de matières de la région Ile-de-France en 2015*, Laboratoire Géographie-Cités, mai 2018.
- Augris, C. et A. P. Cressard, *Les granulats marins*, Rapports scientifiques et techniques 51, CNEXO, 1984.
- Barles, S., S. Jardel et A. Guillerme, *Infrastructures de transports routiers, Parcs et trafics automobiles, France, 1900-1970. Etude exploratoire*. Rapport de recherche, INRETS, 2004, p. 87.
- Barteau, A. et al., *La filière béton face aux contraintes environnementales. Jeu d'acteurs et légitimité d'une politique publique de soutien*, Rapport de Groupe d'Analyse de l'Intervention publique pour le Mastère PAPDD, École des Ponts ParisTech, 2017.
- Barthélémy, F., *Schémas départementaux des carrières*, 92-281, Conseil général des Ponts et Chaussées, juillet 1993.
- Bataillard, P., B. Chevrier et V. Hoang, *Valorisation à terre des sédiments de dragage : retour d'expérience en France et à l'international*, Rapport final N°RP-67329-FR, BRGM, août 2017.
- Bauchard, M., *Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères : Contrôles de fabrication aux usines d'Issy-les-Moulineaux et d'Ivry et constatations sur des structures de chaussée comportant du machefer*, Le Bourget : Laboratoire régional de l'Est Parisien, 1974.
- Berthonnet, A., *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées avec les entreprises routières, les constructeurs de matériels et les producteurs de granulats français de 1945 à 1980*, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2003.

- Berton, Y., *Ressources et contraintes d'exploitation des sables et graviers alluvionnaires dans la vallée de l'Eure*, n°73 SGN 279 BSS, BRGM, août 1973.
- Berton, Y. et L. Primel, *Méthodologie des études de ressources en granulats*, n°79 SGN 577 MTX et N°35, BRGM - LCPC, 1979.
- Berton, Y., *Guide de prospection des matériaux de carrière*, BRGM, 1983.
- BIOTOPE et Biogéo, *Etat des lieux de la connaissance et des attentes des acteurs sur l'impact des infrastructures de transport terrestre sur les paysages et les écosystèmes*, Rapport final, janvier 2007.
- BIPE, *Analyse des consommations de la branche bâtiment et génie civil. La consommation de granulats*, Bureau d'information et de prévision économique, octobre 1965.
- *Analyse des consommations de la branche bâtiment et génie civil - La consommation de granulats - Le marché national pour la période 1963-1966 - Essai d'approche du marché régional pour les années 1963 à 1965*, octobre 1966.
- *Les flux de transport de granulats en 1965*, décembre 1967.
- *La structure des transports de granulats en 1985*, octobre 1968.
- *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome I*, décembre 1969.
- *La structure des transports de granulats en 1985. Etude des possibilités d'approvisionnement de la région Parisienne et du Nord. Tome II*, février 1970.
- Boulet, M., *Les études d'auscultation des chaussées pour la programmation des travaux d'entretien et de renforcement du réseau routier français*, Rapport des laboratoires, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1983.
- Bourges, F., *Remblais sur sols compressibles. Synthèse des recherches effectuées dans les laboratoires des Ponts et Chaussées*, Rapport de recherche n°10, octobre 1970.
- Bouttier, A. et al., *L'extraction de granulats dans le lit mineur et le lit majeur de certains cours d'eau (Dordogne, Garonne, Loire, Adour, Durance)*, Rapport au ministère de l'environnement n°91-326, Paris, octobre 1991.
- BRGM, *Granulats*, n°R37826, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, septembre 1993.
- *Les résidus miniers français : typologie et principaux impacts environnementaux potentiels*, n°R39503, juin 1997.
- BRGM et CETE, *Inventaire pour les vallées de la Seine*, n°73 SGN 2 58 BSS, BRGM, 1966.
- Bringezu, S. et H. Schütz, *Total material requirement of the European Union*, Technical Report 55, Copenhagen : European Environment Agency, 2001.
- Carly, R., *Expériences nationales de réutilisation de déchets miniers*, n°83 SGN 839 ENV, BRGM - ANRED, novembre 1983.
- CECA, *Utilisation des cendres volantes et du mâchefer de générateurs de vapeur chauffés au charbon*, Recueil 32, Communauté européenne du charbon et de l'acier, 1970.
- CEMAGREF, *Les Carrières de roches massives : aménagements paysagers*, Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts, 1985.
- CETMEF, *Enquête "Dragage 2006"*, Analyse des données, 2008.
- *Enquête "Dragage 2010"*, Analyse des données, 2013.
- CGDD, *L'environnement en France - Focus « Ressources naturelles »*. Commissariat Général au Développement Durable, 2020.

- CGDD-SOeS, *Matières mobilisées par l'économie française. Comptes de flux pour une gestion durable des ressources*, 6, Commissariat Général au Développement Durable - Service de l'observation et des statistiques, juin 2009.
- *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*, Guide méthodologique, juin 2014.
- *Sols et environnement. Chiffres clés. Edition 2015*, 2015.
- CGEDD, *Rapport de la mission sur les dégâts occasionnés sur le réseau routier national (RRN) durant l'hiver 2009 - 2010*, n°007210-01, Conseil général de l'environnement et du développement durable, novembre 2010.
- CGEDD et CGE, *Impact environnemental et économique des activités d'exploration ou d'exploitation des ressources minérales marines*, CGEDD n°011447-01 ; CGE n°2017/12/CGE/SG, 2017.
- CGPC, *Extraction et production de granulats*, Rapport final du groupe de travail Affaire n°80-109, Conseil général des Ponts et Chaussées, 1982.
- Chaize, P. et M. Dagbert, *Sécurité des ponts : éviter un drame*, Rapport d'information n°609, Sénat, octobre 2019.
- Charte Environnement des Industries de Carrières, *Catalogue des études. Edition 2006*, Comité national de la charte, 2006.
- CIMbéton, *Le retraitement en place à froid des chaussées au ciment ou aux liants hydrauliques routiers*, Entretien des routes secondaires T90, 2006.
- *Histoire du béton : naissance et développement, de 1818 à nos jours*, Cahier des modules de conférence pour les écoles d'architecture B90A, 2009.
- *Tome1 : Conception et dimensionnement*, Voiries et aménagements urbains en béton T50, 2019.
- CNR, *60 ans : Donzère-Mondragon, symbole du relèvement national*, Lyon : Compagnie nationale du Rhône, 2012.
- Colin, S. et J. Picot, *Evaluation de la ressource dans la cadre du schéma départemental des carrières : Département du Nord*, n°RP- 57783-FR, BRGM, novembre 2009.
- Colin, S. et M. Urvois, *Bilan d'activité 2013 de la base de données et du site internet « Carrières et matériaux »*, Rapport final n°RP-63268-FR, BRGM, février 2014.
- Commissariat Général du Plan de Modernisation et d'Équipement, *Premier rapport de la Commission de Modernisation des Matériaux de construction*, Paris, octobre 1946.
- *Rapport Général sur le Premier Plan de Modernisation et d'Équipement*, Paris, novembre 1946.
- *Troisième Plan de Modernisation et d'Équipement (1958-1961)*, Paris, 1960.
- *Comité des matériaux et produits pour la construction chargé du VIe Plan de Développement Économique et Social (1971-1975)*, Paris, 1970.
- *VIIe Plan de Développement Économique et Social (1976-1980)*, Paris, 1976.
- Commissariat Général du Plan et de la Productivité, *IVe Plan. Rapports généraux de la commission du Bâtiment et des Travaux Publics*, 1962.
- Cour des Comptes, *Le rapport public annuel 2001*, 2001.
- *L'entretien des routes nationales et départementales*, Rapport public thématique, mars 2022.

- Cousin, P., *Imputation aux usagers PL et VL du coût d'infrastructure des routes*, Bagnex : SETRA, 2009, p. 72.
- Cula, P., « La route, un patrimoine », Dole, 28 novembre 2011.
- Deboutière, A. et L. Georgeault, *Étude socio-économique et bilan matières de la région Rhône-Alpes*, Institut de l'économie circulaire, mars 2016.
- Dione, M. et A. Guillerme, *Les travaux publics en Afrique du nord (1953-1963) : Économie et innovations*, Rapport de recherche pour le Plan Urbain du Ministère de l'Équipement, 1989.
- DRCR, *Directive pour l'exécution des renforcements de chaussées*, septembre 1976.
- *L'utilisation des granulats au cours de la campagne de Renforcements Coordonnés 1978*, Note d'information, mars 1980.
- DRE-IDF, *Catalogue des structures de chaussées*, Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France, décembre 2003.
- *Valorisation des excédents de déblais de travaux publics*, Guide technique pour l'utilisation des matériaux régionaux d'Ile-de-France, décembre 2003.
- DREAL-ACAL, *Étude des flux de matières à l'échelle du territoire et des départements lorrains*, Rapport d'analyse 8512102, Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement - Alsace-Champagne-Ardenne-Lorraine, mai 2016.
- DREAL-CVL, *Comptabilisation des flux de matières à l'échelle de la région Centre - Val de Loire*, Direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Centre-Val de Loire, octobre 2017.
- DRIEE, *L'approvisionnement du Grand Paris en matériaux*, Note de problématique, Direction régionale et interdépartementale de l'environnement et de l'énergie, décembre 2012.
- Durand, G. et P. Cousin, *Incidence des PL sur les coûts de construction de chaussées neuves*, Bagnex : SETRA, 2009.
- ECOSPHERE, *Carrières et zones humides. Le patrimoine écologique des zones humides issues de l'exploitation des carrières*, Union Nationale des Producteurs de Granulats, 1996.
- EDF, *La centrale nucléaire du Tricastin. Une production d'électricité au cœur des régions Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur*, Dossier de presse, 2019.
- ENCEM-CNC, *Carrières de roches massives. Potentialités écologiques. Analyse bibliographique et réflexions*, NP-C4-08-G, Comité national de la charte, octobre 2008.
- Eurostat, *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide : 2000 edition*, Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2001.
- *Economy-wide material flow accounts handbook : 2018 edition*, Manuals and guidelines, Luxembourg : Statistical Office of the European Union, 2018.
- Fichet-Poitrey, F., J. Bureau et M. Kaufmann, *Le corps des ponts et chaussées du génie civil à l'aménagement du territoire*, Rapport de recherche 0159/82, Comité de la recherche et du développement en architecture (CORDA), 1982.
- FNTF, *TP Informations 1971*, Enquête de structure, 1973.
- *TP Informations 1974*, Enquête de structure, 1976.
- *Étude de caractérisation de matériaux issus de plateformes de tri et de valorisation de déchets du BTP*, Rapport final, 2011.

- *TP informations 2019*, Recueil de statistiques, 2020.
- FPP, *Piscines privées : un phénomène français qui se confirme !*, Dossier de presse, Fédération des Professionnels de la Piscine et du Spa, avril 2022.
- GEODE et MTES, *Dragages et immersions en mer et en estuaire. Revue des bonnes pratiques environnementales*, Groupe d'études et d'observation sur les dragages et l'environnement, février 2018.
- Glasson, D., *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970 : Une Construction Technique, Administrative et Sociale Originale au Sein de l'Administration des Travaux Publics*, 2003.
- Groupe de Travail Dragages portuaires, *Pour une vision partagée des opérations de dragage portuaire en Bretagne*, Conseil Régional de Bretagne, mars 2017.
- Groupe d'Etude des Talus, *Les glissements de talus routiers. Etude de désordres observés entre 1963 et 1967*, Laboratoires des Ponts et Chaussées, décembre 1968.
- Hamon, J.-Y., G. Leynaud et J. P. Pertus, *L'exploitation des granulats marins et la cohabitation avec la pêche professionnelle*, Rapport de mission, juillet 1992.
- IDDRIM, *Entretien et préserver le patrimoine d'infrastructures de transport : une exigence pour la France*, Livre blanc, Institut Des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité, octobre 2014.
- IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement*, 114, octobre 2006.
- IMDM et Nibuxs, *Audit externe sur l'état du réseau routier national non concédé et la politique d'entretien de ce réseau*, DIT - DGITM - MTES, avril 2018.
- INEC, *La valorisation des mâchefers. Une technique d'économie circulaire inscrite dans les territoires*, Institut national de l'économie circulaire, mars 2020.
- Infociments, *L'essentiel 2018*, 2018.
- INRA, *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action*, Rapport d'expertise scientifique collective, INRA, 2017.
- INSEE, *Annuaire statistique de la France*, Institut national de la statistique et des études économiques, 1959.
- *Annuaire statistique de la France*, Institut national de la statistique et des études économiques, 1966.
- *Annuaire rétrospectif de la France. Séries longues. 1948-1988*, 1988.
- ISTPM, *Effets de l'exploitation des agrégats marins sur les activités halieutiques*, Rapport de fin d'étude 77/1876-32, Nantes : Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, février 1980.
- LCPC, *Rapport général d'activité. Année 1962*, Paris, 1963.
- *Activités 1987 de la Division Géotechnique - Mécanique des Sols 1 (GMS1)*, Rapports des laboratoires, juillet 1988.
- Le Guern, C. et al., *Aide à la gestion alternative au rejet en mer de sédiments contaminés provenant du dragage de sites portuaires*, Rapport final n°RP-53470-FR, BRGM, octobre 2004.
- LREP, *Guide d'utilisation des sables alluvionnaires de la Région Parisienne*, Laboratoire régional de l'Est Parisien, janvier 1974.
- MEEDDM, *Plan d'action déchets 2009-2012*, Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2009.

- MEEM, *Guide méthodologique pour l'élaboration des Documents d'Orientation pour une Gestion durable des Granulats Marins (DOGGM)*, Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer, 2016.
- MI-France, *L'économie circulaire au coeur des minéraux pour l'industrie*, Minéraux industriels, 2019.
- Monbet, Y., *Evolution des peuplements Benthiques*, Port Autonome du Havre, mai 1980.
- Noë, J. L. et al., *Les stocks de phosphore dans les sols agricoles : origine et devenir*, Rapport 2018, 2018.
- Notter, B. et M. Schmied, *Non-road energy consumption and pollutant emissions. Study for the period from 1980 to 2050*, 15-19, Bern : Federal Office for the Environment, 2015.
- OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, Organisation de Coopération et de Développement Économiques, septembre 1977.
- *Construction de routes sur sols compressibles*, Rapport du groupe de recherche routière CM1, Paris, décembre 1979.
- *Le chargement dynamique des chaussées*, Paris, 1992.
- *Gestion du patrimoine d'infrastructure dans le secteur routier*, Paris, 2001.
- Odent, B. E., *Schéma Directeur National d'Approvisionnement en Granulats*, Rapport des travaux réalisés en 1995 sur la délimitation des ressources et sur la simulation de scénarios de production jusqu'à l'horizon 2015. Phase 1 n°R38914, BRGM, janvier 1996.
- OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, Rapport en ligne, Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières, 2006.
- *Schistes houillers*, Rapport en ligne, Observatoire Français du Recyclage dans les Infrastructures Routières, 2013.
- ONR, *Rapport 2018*, Paris : Observatoire National de la Route, 2018.
- *Rapport 2020*, Paris : Observatoire National de la Route, 2020.
- Piantone, P., *Contribution du BRGM au projet OFRIR*, Rapport final n°RP-53870-FR, BRGM, avril 2005.
- Piantone, P., P. Blanc et F. Bodéan, *Les mâchefers d'incinération d'ordures ménagères. Etat de l'art*, N°RP-50589-FR, BRGM, décembre 2000.
- Pichereau, D., *Transports terrestres et fluviaux*, Avis présenté au nom de la commission du développement durable et de l'aménagement du territoire n°1285, Assemblée Nationale, 2019.
- Pipame, *Marché actuel et offre de la filière minérale de construction et évaluation à échéance 2030*, Pôle interministériel de prospective et d'anticipation des mutations économiques, 2016.
- PREDEC, *Réduire et mieux gérer les déchets de chantier*, Plan régional de prévention et de gestion des déchets issus des chantiers du bâtiment et des travaux publics, Région Île-de-France, 2015.
- PREDIS-NPdC, *Améliorer la valorisation des déchets industriels en BTP*, Plan Régional d'élimination des déchets industriels spéciaux Groupe de travail n°5, CETE - LRPC de Lille - École des Mines de Douai, 2002.
- Primel, L., *Recherche sur l'évolution des propriétés des matériaux alluvionnaires dans un bassin et mise en évidence de quelques caractéristiques générales*, Rapport de recherche 1, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, janvier 1969.

- Préville, A. et P. Bolo, *Pollution plastique : une bombe à retardement ?*, Rapport à l'Assemblée Nationale et au Sénat n°3654 et n°217, 2020.
- Rainelli, P. et F. Bonnioux, *Rentabilité des opérations de remblaiement des carrières désaffectées*, 83/081, Rennes : INRA, 1983.
- RECORD, *Stabilisation à base de liants hydrauliques de matériaux ou déchets contaminés par des polluants organiques*, n°99-0325/1A, décembre 2000.
- *Déchets de démolition et de déconstruction : gisements, caractérisations, filières de traitement et valorisation*, n°09-0139/1A, juin 2011.
 - *Qualité et devenir des mâchefers d'incinération de déchets non-dangereux. Etat des lieux et perspectives*, n°13-0241/1A, octobre 2015.
 - *Impacts écologiques de sédiments pollués extraits et déposés en milieux terrestres. Etat des connaissances et évaluation des risques pour les écosystèmes*, n°14-1023/1B, mai 2017.
- Reverchon, C. et P. Gaudin, *Carrières et carriers en Provence : un siècle d'extraction de la pierre du Midi*, Rapport de recherche, Paris : Créaphis, 1987.
- Rossi, P., L. Gavois et G. Raoul, *Utilisation des sous-produits industriels – Schistes houillers*, C5371, Techniques de l'ingénieur, 2008.
- *Utilisation des sous-produits industriels – Les cendres volantes. Origine, production et caractéristiques*, C5373, Techniques de l'ingénieur, août 2009.
 - *Utilisation des sous-produits industriels – Les cendres volantes. Des possibilités d'emploi très diversifiées*, C5374, Techniques de l'ingénieur, 2010.
 - *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, C5379, Techniques de l'ingénieur, février 2014.
- Routes de France, *Routes et rues, l'urgence : rénover, entretenir*, 2018.
- *Bilan environnemental 2018*, juin 2019.
 - *Etat de la route 2021*, 2021.
- SAEI, *La consommation de granulats dans la Région parisienne en 1985*, Service des affaires économiques et internationales, septembre 1972.
- Sanéjouand, R., *La Cartographie géotechnique en France*, Association pour la recherche et le développement des méthodes et processus industriels, 1972.
- SDES, *Le recyclage des déchets produits par l'activité de BTP en 2014*, Service des données et études statistiques, octobre 2018.
- *Chiffres clés de l'énergie - Édition 2019*, septembre 2019.
 - *Bilan annuel des transports en 2019*, décembre 2020.
 - *Bilan annuel des transports en 2019 : bilan de la circulation*, novembre 2020.
- Secrétariat Général de la Mer, *Extraction de granulats marins. Document d'orientation pour une politique nationale*, juin 2006.
- SERETE, *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome II - analyse technico-économique*, PE/61-201, CNEXO, mars 1972.
- *Exploitation des sables et graviers d'origine marine pour l'approvisionnement de la région Parisienne à l'horizon 1985. Tome I - synthèse*, février 1973.
- SETRA, *Réemploi de béton de démolition dans le domaine routier*, Note d'information, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes, mai 1984.

- SETRA, *Image Qualité du Réseau routier National - IQRN. Année 2002*, Bilan d'enquête, décembre 2004.
- *Retraitement des chaussées et recyclage des matériaux bitumineux de chaussées*, Guide technique, 2004.
 - *Insertion d'une infrastructure routière. Concilier terrassements et enjeux paysagers*, Note d'information 84, 2008.
- SETRA et CFTR, *Conception et réalisation des terrassements. Fascicule I : études et exécution des travaux*, Guide technique, mars 2007.
- SETRA et LCPC, *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-ciment*, 1969.
- *Recommandation pour le traitement des sols fins à la chaux*, 1972.
 - *Directive pour la réalisation des assises de chaussées en graves-laitier et sables-laitier*, 1973.
 - *Recommandation pour les terrassements routiers. Établissement des projets et conduite des travaux de terrassements*, 1976.
 - *Catalogue 1977 des structures types de chaussées neuves*, décembre 1977.
 - *Guide technique pour le dimensionnement des renforcements de chaussées souples*, juin 1978.
 - *Le recyclage en centrale des enrobés bitumineux*, Note technique provisoire, décembre 1982.
 - *Terrassements routiers. Contrôle en continu du compactage*, Guide de chantier, 1982.
 - *Assises de chaussées. Guide d'application des normes pour le réseau routier national*, décembre 1998.
 - *Réalisation des remblais et des couches de forme. Fascicule I. Principes généraux*, Guide technique, 2000.
 - *Étude et réalisation des remblais sur sols compressibles*, 2000.
 - *Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques. Application en assises de chaussées*, Guide technique, 2007.
- Sénat, *Rapport d'information fait au nom de la mission commune d'information sur le traitement des déchets*, n° 571, 2010.
- SOeS, *Les infrastructures linéaires de transport : évolutions depuis 25 ans*, Service de l'observation et des statistiques, décembre 2016.
- SPTF, *Guide pour la réalisation des terrassements des plateformes de bâtiments et d'aires industrielles dans le cas de sols sensibles à l'eau*, Syndicat Professionnel des Terrassiers de France, décembre 2009.
- SRAEB, *Examen des problèmes posés par les captages d'A.E.P. implantés dans les alluvions de la Loire et de l'Allier en Bourgogne*, Service Régional de l'Aménagement des Eaux de Bourgogne, février 1984.
- SRBTP, *Guide de conception et de fonctionnement des installations de traitement des déchets du BTP*, Fédération française du bâtiment, 2014.
- Statistique de l'industrie minière, *Résumé des travaux statistiques de l'administration des Mines en 1847, 1848, 1849, 1850, 1851 et 1852*, Direction des Mines, octobre 1854.
- *Statistique de l'industrie minière et des appareils à vapeur en France et en Algérie pour l'année 1920*, Direction des Mines, 1922.

- UNICEM, *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2006*, Enquête de branches, 2007.
- *Dossier de presse. Les carrières, une chance pour la biodiversité*, 28 octobre 2008.
 - *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2012*, Enquête de branches, 2013.
 - *Les industries de carrières et matériaux de construction en 2016*, Enquête de branches, 2017.
- UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2008*, Union Nationale des Producteurs de Granulats, 2009.
- *Carrières et granulats, pour un approvisionnement durable des territoires*, Livre blanc, 2011.
 - *Carrières et Granulats à l'horizon 2030*, Livre blanc, 2016.
 - *L'industrie française des granulats. Données 2018, 2020*.
- URF, *Faits et chiffres, statistiques du transport en France 2006*, Union routière de France, octobre 2006.
- *Etat de la route en France*, février 2017.
 - *Faits et chiffres, statistiques des mobilités en France et en Europe 2019*, octobre 2019.
- USIRF, *Enquête déchets d'enrobés produits par les chantiers et les centrales. Chiffres 2003*, Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française, 2004.
- *Bilan environnemental 2012, 2013*.

Littérature

- Balzac, H. de, *Le curé de village*, Collection Folio 659, Paris, Gallimard, 1975.
- Defontaines, C., *La Bétonite*, Paris, Hachette, 1988.
- Dumoulin, G., *Carnets de route, quarante années de vie militante*, Lille, Editions de "l'Avenir", 1938.
- Giono, J., *Jean le Bleu*, 3649, Paris, Livre de poche, 1976.
- Hamp, P., *Kilowatt*, La peine des hommes, Paris, Plon, 1957.
- Kundera, M., *La plaisanterie*, folio, Gallimard, 2016.
- Lémonon, M., *Laurent ou l'itinéraire d'un prêtre-ouvrier*, Chrétiens en liberté, Paris, Karthala, 2000.
- Navel, G., *Travaux*, Paris, Gallimard, 2008.
- Pellegrino, B., *Là-bas, août est un mois d'automne*, Zoé poche 107, Genève, Zoé, 2021.
- Proust, M., *A l'ombre des jeunes filles en fleurs*, Paris, Librairie Générale Française, 1993.
- Zola, E., *La curée*, Le livre de poche 349, Paris, Fasquelle, 1984.

Annexe A

Commentaires sur les sources

A.1 Avant 1945

Toute une nouvelle presse spécialisée, concentrée autour de quelques éditeurs parisiens de la rive gauche (Dunod, Lacroix, Baudry, etc.), se développe grâce à la production d'espace au XIXe siècle – qu'elle soutient en retour. L'imbrication entre univers de la construction, formation et presse technique se prolonge au XXe *via* des éditeurs comme Eyrolles¹ (créé en 1925). Proche du patronat naissant et des Corps d'ingénieurs, elle diffuse savoirs et techniques et contribue à la construction d'un socle cognitif commun. Nous avons sélectionné les revues les plus connues et régulières. Les numéros spéciaux (à l'occasion du cinquantième ou centenaire d'une revue, ou sur une thématique précise) ont été utiles pour retracer des évolutions longues.

A.1.1 Périodiques

Annales des Mines D'abord publiée sous le nom *Journal des Mines* de 1798 à 1815, cette revue est bien sûr un organe clé des ingénieurs de l'École des Mines². Elle nous a servi pour les statistiques de l'industrie minière, son intérêt (mince et intermittent) pour les carrières (qui dépendent du Code Minier jusque 1993) et aux déchets du charbon (cendres volantes en particulier).

Annales des Ponts et Chaussées Revue imprimée par Carilian-Goeury, Dalmont et enfin Dunod. Fondée en 1831, elle a pour objectif de défendre les intérêts des ingénieurs du Corps des Ponts et Chaussées. Progressivement, elle construit et promeut l'image sociale de ce Corps. A la fois entreprise collective de perfectionnements des savoirs de l'ingénieur d'État, « lieu de l'accumulation ordonnée de savoirs », la revue fait aussi le lien entre les ingénieurs et leur administration de tutelle³.

1. Léon Eyrolles fonde l'École spéciale des travaux publics en 1901 : H. Vacher, « L'École spéciale des travaux publics et le projet de l'ingénieur-architecte au début du XXe siècle, 1901-1939 », dans : *Formation au travail et enseignement technique*, Actes du 127e Congrès national des sociétés historiques et scientifiques, Paris, Editions du CTHS, 2005, p. 65-85.

2. Elle est entièrement numérisée : https://patrimoine.mines-paristech.fr/Annales_des_mines

3. Voir : Montel, *Écrire et publier des savoirs au XIXe siècle*, *op. cit.*

Annales des Chemins Vicinaux Revue fondée en janvier 1845, qui fait suite à la loi sur les chemins vicinaux du 21 mai 1836 – qui marque le début de l’organisation vicinale. Elle se destine aux agents-voyers, qui sont à l’œuvre vicinale ce que le Corps des Ponts est aux routes royales. Elle diffuse des mémoires, documents et actes officiels concernant le service vicinal (y compris les lois et ordonnances). Elles cessent de paraître en 1940 et deviennent *Annales de la Voirie* après 1960.

Revue générale des chemins de fer Imprimée par Dunod, cette revue mensuelle paraît depuis 1878⁴ et se destine aux ingénieurs et agents des services du réseau⁵. Très utile pour comprendre comment sont réalisés les travaux de terrassement lors des constructions des voies de chemin de fer (ainsi que pour évaluer les volumes déplacés par mètre linéaire).

Le Génie Civil Le sous-titre la décrit comme “revue générale des industries françaises et étrangères”. Elle est fondée en 1880⁶ par un groupe d’ingénieurs et d’architectes (professeurs et anciens élèves de l’École centrale et des écoles d’arts et métiers). Très riche en illustrations, elle nous a servi pour ses descriptions de chantiers de grandes infrastructures et les terrassements en particulier. La parution est régulière (souvent hebdomadaire) jusqu’en 1973, lorsqu’une publication commune et éphémère avec la revue *Métallurgie et la construction mécanique* (fondée en 1868) est entamée. Suite à des déboires financières, la “Société des Éditions du Génie Civil et de la Métallurgie” reprend en février 1976 la publication des deux revues : *Le génie civil* (avec comme sous-titre *revue générale des techniques*) et *La Métallurgie et la construction mécanique*.

La Construction moderne Journal hebdomadaire⁷ fondé en 1884 (le premier numéro date du 17 octobre 1885), centré sur l’architecture – très majoritairement les bâtiments urbains. Son évolution est révélatrice de la transformation matérielle dans la production de l’espace puisque elle devient la *Revue du Centre d’Information de l’Industrie Cimentière*, quasi toute entière dédiée aux ciments et bétons. Elle est aujourd’hui publiée par l’association patronale CIMbéton, le “centre d’information sur le ciment et ses applications”.

4. Son nom devient temporairement *Revue générale des chemins de fer et des tramways* (1898-1924).

5. Dans son premier numéro : “Elle est destinée à tenir les Ingénieurs et les Agents des divers services des voies ferrées au courant des travaux exécutés, des progrès tentés ou réalisés, en un mot de tous les faits techniques ou commerciaux relatifs aux chemins de fer qui, en France ou à l’étranger, présentent quelque intérêt. Elle publiera tout à la fois des travaux techniques relatifs à la construction des chemins de fer, à leur entretien, à l’établissement du matériel fixe et roulant, à la traction, etc. ; des études économiques ou financières ; des résultats ou renseignements ayant trait à l’exploitation technique ou commerciale, disposition des gares, manutention, télégraphie et, en général, électricité, chauffage et éclairage des gares et des trains, tarifs, jurisprudence, comptabilité, etc.”

6. Elle succède pour partie aux *Annales du génie civil*, créée en 1862 et publiée par un éditeur influent, E. Lacroix, et davantage dédiée aux mathématiques pures et appliquées.

7. Sa rédaction est rue de Rennes. Le journal devient mensuel après 1945, bimestriel après 1968, trimestriel après 1975.

La Houille Blanche Cette revue, qui paraît depuis mai 1902⁸ est essentielle pour les chantiers hydro-électriques (sur lesquels elle publie des numéros spéciaux, comme sur Donzère en 1955) – son sous-titre initial est *Revue générale des Forces hydro-électriques*. En 1948, des accords avec la Société Hydrotechnique de France en font l'organe de "l'Association pour la Diffusion de la Documentation Hydraulique".

Revue des matériaux de construction et de travaux publics Comme *La construction moderne*, cette revue mensuelle est particulièrement éclairante sur l'influence grandissante du ciment et du béton dans la production d'espace. Fondée en 1905, par Leduc (directeur depuis 1902 du Laboratoire d'Essais de Matériaux de Construction du CNAM) et Margry sur le modèle de la *Revue de Métallurgie* (créée en 1904 par Henri Le Châtelier). Elle se divise, au début, en trois séries : "Ciments, chaux, plâtres, agglomérés" (qui devient Édition C après 1945), "Briques, tuiles, céramiques", "Marbres, pierres, granits". Son nom (qui change très régulièrement) est trompeur puisqu'il s'agit d'une revue presque exclusivement dédiée aux liants hydrauliques, et en particulier au ciment, en à partir de 1946-1947, lorsqu'elle devient la publication du CERILH⁹. Outre les chantiers, elle est très utile pour éclairer les liens entre laboratoires et industrie cimentière.

A.1.2 Cours et manuels

En plus des revues, nous avons accès aux chantiers et aux techniques de construction grâce aux publications (cours, manuels, etc.) des nouveaux éditeurs, libraires-éditeurs ou imprimeurs-éditeurs dédiés aux ingénieurs qui sont créés à Paris. Le plus important est peut-être Dunod, qui a pour noms successifs : Carillan-Goeury¹⁰, puis Carillan-Goeury et Victor Dalmont¹¹, Dalmont et Dunod¹², Ch. Dunod, Dunod. C'est Dunod qui publie les *Annales des Ponts et Chaussées*, la *Revue Générale des Chemins de Fer*, les *Nouvelles Annales de la construction* (créées en 1855), ou la collection *Bibliothèque du conducteur de Travaux Publics*. La librairie associée change de noms selon les époques et les régimes politiques. Dans l'ordre chronologique : "Librairie des Ponts et Chaussées et des Mines", "Librairie des Corps royaux des Ponts et Chaussées et des Mines", "Librairie des Corps Impériaux des Ponts et Chaussées et des Mines", "Librairie des Corps des Ponts et Chaussées, des Mines", "Librairie des Corps

8. L'ambition est donnée dès le premier numéro. "La « Houille noire » a fait l'Industrie moderne ; la « Houille blanche » la transformera. Cette transformation, à l'heure présente, nul ne songe à la contester. L'eau des torrents qui se précipite des glaciers vers la plaine est une force qui, une fois captée, donne, à l'aide des moteurs hydrauliques, le même travail que la vapeur dans les machines à feu, mais c'est la neige qui devient la Houille (...) Tandis qu'il faut l'effort de l'homme pour extraire la Houille noire, la Houille blanche s'offre d'elle-même et il suffit de vouloir s'en servir".

9. Ce centre remplace l'Office national des chaux et des ciments, dissous en juillet 1946.

10. A. Berthault-Ducreux, *Des Grandes Routes et des chemins vicinaux, procédés les plus économiques pour les construire, les améliorer et les maintenir constamment dans le meilleur état possible*, Paris, Carillan-Goeury, 1829 ; *idem*, *Théorie et pratique des mortiers et ciments romains*, *op. cit.*

11. *Idem*, *Manuel du cantonnier de chemins vicinaux*, *op. cit.* ; A. Berthault-Ducreux, *Notions sur les principales questions que soulève en ce moment l'entretien des routes, et sur les meilleurs moyens de hâter les progrès de cet art*, Paris, Carillan-Goeury et Dalmont, 1848.

12. Claudel et Laroque, *op. cit.*

Nationaux des Ponts et Chaussées, des Mines et des Télégraphes”. Située Quai des Augustins d’abord au 41 puis au 39-41 et enfin au 49 – quand elle prend le nom de Dalmont et Dunod¹³.

Un autre éditeur influent est associée à la “Librairie Polytechnique” : il s’agit de J. Baudry et Cie¹⁴, qui devient Ch. Béranger. Outre qu’il reprend les *Nouvelles Annales de la Construction* à Dunod en 1876, ce dernier publie¹⁵ l’*Encyclopédie des Travaux Publics* créée par Médéric-Clément Lechalas (1820-1904), un ingénieur fouriériste, productiviste anti-malthusien et colonialiste¹⁶. Dans celle-ci, nous avons été particulièrement intéressé par les manuels et cours sur les routes pour suivre l’évolution de leur métabolisme – et spécifiquement ceux professés à l’ENPC au début de l’automobile¹⁷, les mouvements des terres¹⁸ –, terrassements¹⁹, la géologie²⁰, etc.

Des éditeurs plus petits, situés parfois dans les quartiers voisins, jouent un rôle important : J. Dejeu et Cie²¹, J.-B. Baillièrre et Fils²², De Malher et Cie²³, L. Mathias qui devient E. Lacroix²⁴, Fanchon et Artus²⁵, L. Mulo²⁶.

13. Heyne, *op. cit.* ; Debauve, *Manuel de l’ingénieur des ponts et chaussées, op. cit.* ; *idem*, *Tome premier, op. cit.* ; *idem*, *Tome deuxième, op. cit.* ; *idem*, *Tome troisième, op. cit.* ; *idem*, *Les travaux publics et les ingénieurs des ponts et chaussées depuis le XVIIe siècle, op. cit.* ; Frick et Canaud, *op. cit.*

14. Situé au 15 rue des Saints-Pères.

15. Il publie aussi Evrard, *op. cit.*

16. En 1847, devant ses collègues de la Société académique, il se “propose d’étudier les principales idées qui se partagent aujourd’hui le monde des intelligences, relativement aux destinées de l’humanité”. “La fondation d’un ordre nouveau, basé sur la conciliation des intérêts des classes et des individus deviendra réalisable grâce à l’immense accroissement de la force productive de l’homme, accroissement qui est l’œuvre de l’industrie, fille de la science. L’expansion colonisatrice marchera donc parallèlement avec l’amélioration du sort de l’espèce humaine ; nous pouvons espérer que, le jour où l’humanité occupera définitivement toutes les parties de la planète dont l’exploitation est possible, le bien-être des individus sera tel, grâce à l’industrie et à l’association, que la fécondité suffira seulement à entretenir la population du globe, sans qu’il soit nécessaire de faire intervenir la famine et la guerre pour établir l’équilibre. (...) un jour viendra, n’en doutons pas, où la société pourra, sans aucun inconvénient, garantir à chacun de ses membres un minimum suffisant pour vivre. Nous avons à faire un long trajet pour arriver là ; mais il dépend de nous d’abrèger la route. Oui, l’humanité possède aujourd’hui tous les éléments nécessaires pour hâter sa marche vers les sociétés de l’avenir : l’industrie et la science ont multiplié sa force productive dans une énorme proportion ; il ne lui manque que de savoir utiliser cette force vive sans en rien perdre par des frottements nuisibles, et de répartir les richesses qu’elle enfante suivant les lois de la justice.” (*Annales de la Société académique de Nantes et du département de la Loire-Inférieure*, 1847, p. 353.).

17. Durand-Claye, *op. cit.* ; Heude, *op. cit.* ; Limasset, *op. cit.*

18. Henry, *Théorie et pratique du mouvement des terres, op. cit.*

19. Pontzen, *op. cit.*

20. E. Nivoit, *Géologie appliquée à l’art de l’ingénieur. Tome premier*, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1887, et le cours de géologie de l’ENPC depuis 1888 : E. Nivoit, *Cours de géologie*, 2ème édition, Encyclopédie des Travaux Publics, Paris, Baudry et Cie, 1898.

21. Situé 18 rue de la Perle. C’est l’imprimeur-éditeur de l’École centrale des Arts et Manufactures, de la Société des Anciens Élèves des Écoles nationales d’Arts et Métiers. Il publie : Gonin, *op. cit.*

22. Situé au 19 rue Hautefeuille. Il publie l’*Encyclopédie Industrielle* : Leduc, *op. cit.*

23. Situé passage Dauphine, la “Librairie scientifique et industrielle” publie : Charleville, *op. cit.*

24. Situé au 15 quai Malaquais. Cette “Librairie scientifique, industrielle et agricole” est le libraire de la “société des ingénieurs civils”. Il publie notamment : Hughes, *op. cit.* ; Graëff, *op. cit.* ; Bruère, *op. cit.*

25. Situé au 25 rue de Grenelle, cet éditeur publie l’*Encyclopédie théorique et pratique des connaissances civiles & militaires*, y compris : Moreau, *Tome I : infrastructure, op. cit.* ; A. Moreau, *Traité des chemins de fer. Tome II : superstructure*, Cours de construction Dixième partie, Paris, Fanchon et Artus, 1898.

26. Situé au 12 rue Hautefeuille, il publie l’*Encyclopédie Roret*, y compris : Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.* ; *idem*, *Tome II, op. cit.*

A.2 Principales sources après 1945

Une très importante littérature grise a été mobilisée : rapports de l'OCDE, des Commissions des différents Plans, Direction Régionale et Interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE) pour l>IDF, la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) pour les autres régions, Service des Données et Études Statistiques (SDES), etc. Des littératures plus spécifiques ont servi : CNEXO sur le granulat marin, rapports du BIPE pour les prévisions sur les granulats, etc. Certains services techniques de la production d'espace ont fusionné. Ainsi, le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA), créé en 2013, résulte de la fusion de 11 services techniques de l'État (dont le SETRA, les CETE, le CETMEF). Dans ce qui suit, nous présentons quelques détails supplémentaires en découpant selon les objets²⁷.

Archives Nationales

Quelques cartons des archives nationales ont servi sur des points très spécifiques. Les fonds consultés sont tous conservés à Pierrefitte-sur-Seine.

- AN, 20100079/61 : Taxes parafiscales (institution de la taxe parafiscale sur les granulats, correspondance, notes).
- AN, 19920645/33 : 5ème section (section “patrimoine naturel”) du Conseil Général des Ponts et Chaussées.
- AN, 19840363/47 : Marché des granulats et taxe parafiscale sur les granulats (Correspondance échangée entre les “Centres techniques des matériaux et composants pour la construction” et la Direction Départementale de l'Équipement).
- AN, 20080658/5 à 20080658/8 : Comités Scientifique et Technique ; Préparation du VIe Plan (Fonds du CNEXO)
- AN, 20144686/20 : Dossiers du comité scientifique et rapports scientifiques, de missions et d'activité du CNEXO.

Routes

Nos sources sur les routes proviennent de revues très diverses et d'une immense littérature grise (utile pour saisir le travail d'institutionnalisation de questions environnementales).

Nous avons consulté une importante documentation des laboratoires des Ponts et Chaussées – des rapports techniques, numéros spéciaux, mais aussi les *Rapports d'activité* du LCPC afin d'obtenir les détails sur l'évolution des LRPC (effectifs par thème, budgets, etc.). Aujourd'hui, le réseau scientifique et technique, en charge des techniques routières, est constitué du CEREMA et de l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux). Ces organismes sont nés de fusions ayant notamment intégré le SETRA au sein du CEREMA, et le LCPC au sein de l'IFSTTAR.

Des instituts liés à divers patronats ont récemment été créés : l'Institut des Routes, des Rues et des Infrastructures pour la Mobilité (IDDRIM) et l'Observatoire national de la route (ONR). L'IDDRIM : créé en 2010, il rassemble 50 membres représentatifs des secteurs publics

27. Nous n'avons pas consulté les archives des entreprises du BTP déjà exhaustivement étudiées par Dominique Barjot et ses étudiants.

et privés (services de l'État, collectivités locales, ingénierie publique et privée, organismes de formation et de recherche) et plus de 40 collectivités. L'ONR, créé en 2016 au sein de l'IDDRIM, rassemble représentants des gestionnaires publics des réseaux routiers et des professions routières, et a pour mission de construire des "outils nécessaires à la définition de politiques durables de gestion de ce patrimoine irremplaçable". Les rapports de la DRCR (le rapport annuel s'intitule *La route en*), *Routes de France* et de l'ONR fournissent des statistiques très générales sur différents aspects des routes (déchets, recyclage, entretien, coûts, trafic routier, etc.).

Au vu de l'importance du cadrage des débats sur les routes et leur entretien au début des années 1960, nous avons consulté les publications patronales depuis les années 1950 jusqu'à aujourd'hui, pour saisir les évolutions de leur rationalité. Le patronat le plus important est l'Union Routière de France qui publie un journal (*Nouvelles de la circulation routière*). Sont par exemple adhérents aujourd'hui : l'USIRF (qui devient *Routes de France*), Association technique de la route (ATR) ; Automobile club de France (ACF) ; Fédération nationale des transports routiers (FNTR) ; Fédération nationale des travaux publics (FNTP) ; Groupement professionnel des bitumes ; Syndicat français de l'industrie cimentière (SFIC) ; Union française des industries pétrolières.

Les Congrès de l'AIPCR²⁸ sont précieux en ce sens qu'ils donnent à voir les influences entre pays, mais aussi parce qu'ils offrent un résumé de la technique routière en France. En effet, chaque délégation y propose un résumé de ses connaissances sur chacune des thématiques (chaussée, sécurité routière, terrassements, etc.). La France est systématiquement représentée par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, mais aussi par des chefs d'entreprises ou de syndicats patronaux. Donnons l'exemple du congrès d'Istanbul (1955), où la délégation française est la plus importante. Le congrès se divise en sections qui comprennent diverses "questions". La Première section s'intitule "construction et entretien", résumée en trois questions : "revêtements des routes et pistes d'aviation" ; "sols des routes" ; "routes économiques". Outre les inspecteurs généraux, ingénieurs en chefs et ingénieurs, des dirigeants de l'URF, l'USIRF (qui est un adhérent de l'URF), l'ACF, GDF, TCF, MTPS, ou le président de la Fédération Nationale des Producteurs de Matériaux de Viabilité²⁹.

Bulletin de liaison des laboratoires routiers Le *Bulletin de liaison* est créé en 1963 et encouragé par le DR, Roger Coquand. Celui-ci insiste sur le besoin d'information utile et rapide, sans attendre "une excessive recherche de la perfection". Il souhaite que ce bulletin soit un "moyen d'information et de documentation commode", mais aussi d'examen des "échecs" : "Il est bien certain que connaître les raisons d'un insuccès peut être, pour les techniciens qui s'intéressent aux problèmes, une information des plus fructueuses". Parmi les objectifs : améliorer les liaisons entre les laboratoires des Ponts et Chaussées (LCPC et LRPC), mais aussi entre Laboratoires, Services de l'Administration et Entreprises ; contribuer à diffuser certains éléments de documentation ; servir de tribune de discussion. Il compte, lors de son 50ème numéro, sans compter les 29 numéros spéciaux, 5 000 lecteurs réguliers³⁰. Ce chiffre

28. L'intégralité des rapports des congrès a été numérisée : <https://www.piarc.org/fr/>.

29. *RGRA* (jan. 1956).

30. *Bull. liaison* (jan.-fév. 1971).

ne rend pas compte de l'importance de cette revue, ni du rôle des laboratoires dont le travail est repris par toutes les revues dédiées aux travaux publics³¹.

Revue générale des routes et aérodromes Cette revue mensuelle³² est l'organe officiel du syndicat général de la route (très proche des ingénieurs des Ponts et Chaussées). Elle est créée en 1926³³ avec comme objectif premier de contribuer à la reconstruction des routes de France, qui souffraient alors “de ne pas avoir été entretenues pendant la guerre”. La *RGRA* publie des comptes rendus de très nombreux colloques ou congrès régionaux, nationaux et internationaux (y compris l'AIPCR ou le congrès international de mécanique des sols) – et en particulier les nombreuses “journées techniques de la route”, “semaine technique de la route” (organisées par l'Association Technique de la Route), “journées régionales de la route” et même “journées locales de la route”. Elle connaît une crise en 1968 et est explicitement reprise par les grandes entreprises (USIRF, Shell, MTPS, CIMbéton, SFIC, Colas, Cochery, Jean Lefebvre, etc.). Dans le chapitre 2, nous citons souvent des maximes de Georges Reverdy (rédigées en août 1967 et publiées en février 1968), ingénieur des Ponts et Chaussées qui participe à quelques grands travaux (y compris l'autoroute Paris-Lyon) mais aussi auteur de divers ouvrages sur l'histoire des routes, autoroutes ou grands travaux publics. Dans la *RGRA* de février 1968, il publie un long article qui énumère 80 maximes des terrassements qui résument l'état des connaissances à un moment où ce secteur connaît des transformations très importantes. De 1968 à 1977, à l'initiative du DR, des fascicules de formation continue [FC], rédigés par les ingénieurs P&C mais à destination des généralistes, sont lancés avec succès : n°1 : introduction au cycle géotechnique routière ; n°2 : terrassements (1ère partie). n°3 : terrassements (2ème partie) ; n°4 : stabilité des talus routiers ; “entretien des routes” ; “Protection contre les nuisances phoniques et intégration visuelle des voies rapides urbaines”. La collection connaîtra un gros succès auprès notamment des responsables de formation d'entreprises³⁴. Les numéros spéciaux, qui établissent un bilan de la technique routière, autoroutes, chaussées ou renforcements coordonnés, ont été examinés avec attention (déc. 1950, mai 1976, déc. 1983, jan. 1985, déc. 2000).

Annales de la Voirie La revue ne paraît pas entre 1940 et 1960. Sa forme et son ton sont très austères jusqu'à la fin des années 1970. Peu à peu, la revue entraîne ses lecteurs vers une réflexion critique par rapport aux politiques mises en œuvre. Significative est la publication, en février 1979, d'une étude portant sur “les équipements dont personne ne veut” (une autoroute dans un quartier résidentiel, un aéroport dans une commune rurale, une usine d'incinération d'ordures ménagères) et expliquant que les modalités édictées pour préparer leur implantation ne visent qu'à faire prendre la “moins mauvaise des décisions”. Les *Annales* ne sont plus les “chantres de la modernisation”. Elles deviennent *La voirie et l'environnement* en 1981 et, enfin, *L'environnement magazine*³⁵ avec comme ambition de

31. Glasson, *Les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées entre 1950 et 1970*, *op. cit.*, p. 157-159.

32. Les noms successifs sont : *Revue générale des routes et de la circulation routière* (1926-1948) ; *Revue générale des routes et des aérodromes* (1948-1996) ; *Revue générale des routes* (1996-2012) ; *Revue générale des routes et de l'aménagement* depuis 2012.

33. Et non en 1947 comme l'affirment Barles, Jardel et Guillaume, *op. cit.*, p. 13.

34. Berthonnet, *La coopération des laboratoires des Ponts et Chaussées*, *op. cit.*

35. Voir le supplément au numéro 1 500 des *Annales de la Voirie* (1991).

“devenir le magazine spécialisé des acteurs de l’environnement, de l’urbanisme et des voies de communication”.

Autres travaux publics

Comme la FNTP quitte la Fédération Nationale du BTP (FNBTP), née en 1904, en décembre 1940 suite à la création, en août, du Comité d’Organisation du BTP³⁶, les univers et les archives des travaux publics et du bâtiment sont assez étanches. La production de bâtiments a été brièvement examinée au travers des revues *Bâtir* (mensuel de la Fédération Nationale du Bâtiment, publiée avec le concours de l’ITBTP et les laboratoires du BTP) qui fusionne avec *Le bâtiment* en 1975 et devient *Le bâtiment - bâtir*. Pour saisir la mécanisation des travaux de terrassement, nous avons examiné quelques revues syndicales d’ouvriers : *Le Prolétaire*, “organe du syndicat des carriers, terrassiers, meuliers, paveurs de Seine et Oise”, *Le Peuple* (journal de la Confédération Générale du Travail), et *Le Terrassier* (CGT et Fédération syndicale mondiale).

Annales de l’Institut technique du bâtiment et des travaux publics Ces *Annales* prolongent la revue *L’entreprise française*, l’organe de la FNBTP depuis 1931³⁷. Elles sont publiées à partir de 1936, juste après la création de l’institut qui inclut les laboratoires du BTP (qui sont donc financés par le FNBTP), le centre d’études supérieures et le centre d’information et de documentation de l’architecture. La revue retranscrit des conférences données à l’institut par les professeurs les plus importants des différentes disciplines. Sans publicité, elles donnent accès à des débats très précis sur les techniques de construction. Les séries par thème (liants hydrauliques, sols et fondations, travaux publics, etc.) apparaissent après 1948. Ce périodique a été crucial pour comprendre et suivre l’évolution de la technique de stabilisation des sols, le rôle de la mécanique des sols et de la seconde infrastructure.

Moniteur des Travaux Publics et du Bâtiment Ce volumineux hebdomadaire, qui de ce fait est impossible à examiner exhaustivement, est une référence incontournable de l’actualité du BTP. Le groupe³⁸ “Moniteur” s’est progressivement constitué autour du titre *Moniteur des travaux publics* dont le premier numéro paraît en 1903. Comme il est principalement destiné à fournir des informations utiles aux professionnels (nouvelles réglementations, annonces judiciaires et légales), nous l’avons peu consulté.

36. L’univers des travaux publics craignait d’être soumis à un pouvoir dirigiste et aux patrons du bâtiment selon Barjot. Sans doute que la scission est aussi le fait de la collaboration de la FNBTP avec Vichy (tout comme des industries cimentières comme Lafarge). Lucien Lassalle qui préside la FNBTP à partir de 1933 devient membre du Conseil national de Vichy, alors que le président du Comité d’Organisation du BTP est un admirateur du maréchal Pétain. Le président de la FNTP engage d’ailleurs rapidement, dès 1944, le processus d’épuration de la profession. Il jouera un rôle important au sein de la Commission de Modernisation du BTP du Premier Plan : D. Barjot, « L’industrie française des travaux publics (1940-1945) », *Histoire, économie et société* 11.3 (1992), p. 415-436 ; D. Barjot, « Les entrepreneurs et la politique. L’exemple du bâtiment et des travaux publics », *Politix* 6.23 (1993), p. 5-24.

37. Revue qui prolonge elle-même le *Bulletin de la Fédération nationale du bâtiment et des travaux publics* publié depuis 1906.

38. En 1931 *Le Moniteur* devient éditeur de livres.

Travaux Revue du patronat des Travaux Publics qui succède en juin 1934³⁹ à *Science et Industrie*, une revue créée en 1917 qui n'était pas dédiée aux travaux publics (son sous-titre initial est *Organe de l'industrie française. Métallurgie, électricité, automobile, aviation*, puis *Revue générale de l'industrie*). Comme pour d'autres revues, nous avons gardé un seul nom (*Travaux*) pour toute la période. Elle publie régulièrement, quasi annuellement depuis 1934, un long numéro spécial dédié aux routes (La Route, noté LR). Elle devient l'organe technique de la FNTP et de la "Chambre Syndicale des Constructeurs en ciment armé" en 1946. Elle éclaire le regard du patronat sur la production de l'espace, tout en donnant des détails techniques appréciables sur les chantiers.

Chantiers de France Revue (mensuelle, bi ou tri-mestrielle) créée en 1963, avec pour focale le Sud-Est⁴⁰, très utile pour les chantiers, le matériel des travaux publics et les installations de carrières⁴¹.

Bulletin du PCM PCM est historiquement le nom de l'Association des ingénieurs des ponts et chaussées et des mines, fondée le 26 mai 1902 – le premier *Bulletin du PCM* paraît dès 1905. En 1931, le *Bulletin du PCM* se dote d'un contenu technique, avec la première "Chronique des travaux", consacrée au port de Saint-Nazaire. A partir des années 1950, le *Bulletin du PCM*, mensuel, cesse de n'être qu'un organe de liaison pour ouvrir ses colonnes à des études et monographies techniques. En mai 1976, les ingénieurs des mines quittent l'association.

Terrassements & carrières C'est la revue du patronat des terrassements. Son rapprochement avec l'univers des carrières tient à une proximité des matériels. Elle a été très utile pour évaluer les volumes de terre.

Carrières

Certaines revues consultées sont peu utilisées : *Routes et Carrières* (la revue du patronat des granulats éruptifs qui publie de 1961 à 1984), *Mines et Carrières*⁴² ou *Matériaux et*

39. Trois éditions de *Science et Industrie* sont créées : *Travaux*; *Électricité*; *Métaux et Machines*

40. Son premier nom jusque 1967 est *Rhône-Alpes-Méditerranée*. Dans le premier article, "Au service de l'expansion du Sud-Est", on lit que les deux plus importants événements de l'économie française d'après-guerre sont l'expansion animée par le 4ème Plan et le Marché Commun. L'article plaide pour la décentralisation "Il est largement souhaitable, en sens inverse, qu'une large propagande soit réalisée par les productions régionales, la création de grands axes routiers, l'amélioration des liaisons, l'essor du tourisme estival et hivernal. C'est la raison pour laquelle la revue "RHÔNE-ALPES – MÉDITERRANÉENNE" met aujourd'hui à la disposition de l'économie régionale une formule d'information et de propagande destinée à compléter l'action entreprise depuis soixante ans, par le "JOURNAL DU BÂTIMENT ET DES TRAVAUX PUBLICS".

41. Série sur "l'équipement des carrières et les installations de traitement des granulats" à partir de novembre 1972 : I) extraction des matériaux (numéro 55, nov. 72); II) préparation mécanique des matériaux – le concassage primaire (numéro 56, déc. 72); III) les étages secondaire et tertiaire (numéro 56, jan.-fév. 73); IV) le criblage et la séparation des sables (numéro 58, mars 73); V) les manutentions – le dosage et le pesage (numéro 59, avr. 73); VI) le traitement des sables (numéro 61, juin 73); VII) engineering d'une installation (numéro 63, sept. 73).

42. Cette revue de la Société de l'Industrie Minérale, née en 1921, opère une révolution en 1984, du fait de la baisse forte de l'extraction de charbon. Alors exclusivement dédiée à l'extraction de charbon et de minerai de

*constructions*⁴³. Pour l'industrie cimentière, nous avons consulté les rapports de CIMbéton (ce centre d'information publie une revue trimestrielle nommée *Routes*, qui fait la publicité des routes en béton de ciment), récemment absorbé par le Syndicat Français de l'Industrie Cimentière (qui publie la *Construction Moderne*), et, pour la période récente, les données de Infociments⁴⁴.

L'Équipement Mécanique Cette revue mensuelle est le résultat de la fusion, en janvier 1938, de la "Revue technique" (fondée en 1922) et de "Pierres et Minerais" (fondée en 1929). Son nom varie souvent⁴⁵. Elle est extrêmement utile pour les renseignements sur l'évolution du matériel et les quantités en jeu, tant sur les chantiers que dans les carrières. Elle discute beaucoup le granulats marin.

Matériaux de construction et produits de carrières Fondée en 1937, c'est la revue du patronat des industries de carrières et matériaux de construction (UNICEM). Elle discute paradoxalement peu de matières – les rubriques dominantes sont économiques, sociales, fiscales juridiques, etc. Chaque année elle dédie un numéro spécial aux statistiques des "carrières et matériaux de construction". Elle adopte tardivement, dans les années 2000 et surtout après le Grenelle de 2007, le paradigme du "développement durable", puis celui de la "croissance verte" et de "l'économie circulaire". Elle est utile pour saisir les mouvements internes au patronat, ainsi que leurs craintes, et pour les statistiques de production.

Le Granulat Revue confidentielle, et à l'existence éphémère (1975-1990), de l'UNPG. Créée à la suite de l'instauration de la taxe parafiscale sur l'extraction de granulats, elle fournit de bons renseignements sur les inquiétudes de la profession vis-à-vis des nouvelles réglementations.

Déchets

Les déchets ont d'abord été abordés grâce aux revues des travaux publics – le laitier est beaucoup discuté pour les routes – aux *Annales des Mines* (schistes et cendres volantes) et la *Revue de Métallurgie*. Les revues du syndicat patronal du tarmac⁴⁶ et laitier ont été déterminantes pour rendre compte de ce déchet⁴⁷. Pour la période qui commence en 1970, nous

fer (matériel, technique, prix du combustible, éclairage, soutènement, forage, bois de mines), elle s'intéresse, à partir de 1984-1985, de plus en plus aux entreprises de carrières (donc surtout de granulats) et change de titre ("Industrie minérale – mines et carrières").

43. C'est le bulletin de la Réunion internationale des laboratoires d'essais et de recherches sur les matériaux et les constructions (RILEM). Revue très technique subventionnée par UNESCO, dont le premier numéro en mars 1959. C'est l'une des premières à s'intéresser aux matériaux de démolition.

44. <https://www.infociments.fr/>

45. Elle s'intitule "Mines, carrières, grandes entreprises", "*L'Équipement Mécanique* des mines, carrières et grandes entreprises" (1947-1951), "*L'Équipement Mécanique*" (1952-1964), "*L'Équipement Mécanique* des chantiers" (1964-1965), "*L'Équipement Mécanique*, carrières et matériaux" (1968-1980), "Carrières et Matériaux" (depuis 1980).

46. D'abord "Syndicat des producteurs de Tarmac de laitiers", puis "Association technique pour le développement des utilisations des laitiers de hauts-fourneaux", enfin "Centre technique et de promotion des laitiers sidérurgiques".

47. La revue *Laitiers Sidérurgiques* (initialement *Tarmac*) depuis 1947.

avons consulté les rapports du BRGM, de l'ANRED⁴⁸, de l'ADEME, du SDES (DATA LAB), le PREDEC ou le réseau RECORD. Le projet OFRIR fournit une base de connaissances et de données concernant les produits susceptibles d'être utilisés en technique routière⁴⁹. Nous avons également eu accès aux publications de la série *Techniques de l'ingénieur*.

Revues environnementalistes

Quelques revues environnementalistes ont été parcourues pour saisir la présence de la production d'espace et le degré de conflictualité : *Sites et Monuments* (Bulletin de la Société pour la protection des paysages de France) ; la *Lettre du hérisson* (organe de France Nature Environnement) ; *Combat Nature* (trimestriel créé en 1974, et édité jusqu'en novembre 2004⁵⁰). La revue *Aménagement et Nature* (1966-2001), qui prolonge le *Courrier de la Nature* (créé en 1961 par la Société nationale de protection de la nature), fondée par Roland Bechmann, architecte et historien, est intéressante car proche de la DATAR et des ministères⁵¹.

48. Rapports d'activité depuis 1978-1979.

49. P. Piantone, *Contribution du BRGM au projet OFRIR*, Rapport final n°RP-53870-FR, BRGM, avril 2005.

50. Charlier, *op. cit.*

51. Elle est entièrement numérisée : <https://sites.google.com/site/amenagementetnature/home>

Annexe B

Quantifier une matière invisible

Le travail de quantification des terres de terrassement est très riche d'enseignements : il permet de saisir les chantiers les plus importants quantitativement ; de réfléchir à la mesure des mouvements de terre par les acteurs des différentes époques ; de jauger la part de l'arbitraire dans les évaluations ; de rappeler le rôle des statistiques et de leurs conventions ; etc.

Il faut rappeler que l'analyse du métabolisme d'une unité territoriale (pays, département, ville, etc.) ne tient compte que des flux de matières qui rentrent dans le système économique, c'est-à-dire qui ont une valeur monétaire¹. Cette convention écarte la matière la plus importante de toute, l'eau, mais aussi les mouvements de terre. Ceux-ci appartiennent aux *hidden flows* et constituent une *unused extraction*. Cette seconde appellation est trompeuse car les terres d'excavation sont largement réutilisées (en remblais sur un autre chantier, pour remblayer une carrière en fin de vie, etc.). C'est aussi vrai pour d'autres matières, comme les résidus de récoltes agricole ou sylvicole. La paille laissée au champ puis retournée dans le sol, même si elle n'est pas directement valorisée économiquement, présente une valeur agromique et évite l'utilisation d'engrais. De même, les branchages et feuillages laissés sur le sol après la coupe d'arbres contribuent à maintenir la fertilité des sols. Selon Eurostat :

'Used' refers to an input for use in any economy, i.e. whether a material acquires the status of a product. (...) 'Unused' flows are materials that are extracted from the environment without the intention of using them, i.e. materials moved at the system boundary of economy-wide MFA on purpose and by means of technology but not for use [...] Examples of unused extraction are soil and rock excavated during construction or overburden from mining, the unused parts of felling in forestry, the unused by-catch in fishery, the unused parts of the straw harvest in agriculture or natural gas flared or vented at the extraction site².

1. Il est possible d'associer des comptes monétaires au transport de certains flux cachés – et les inclure dans le calcul du PIB. C'est le cas des sédiments de dragage.

2. Eurostat, *Economy-wide material flow accounts handbook : 2018 edition*, Manuals and guidelines, Luxembourg : Statistical Office of the European Union, 2018, p. 19.

Figure 5: Economy-wide material balance scheme (excluding air and water flows)

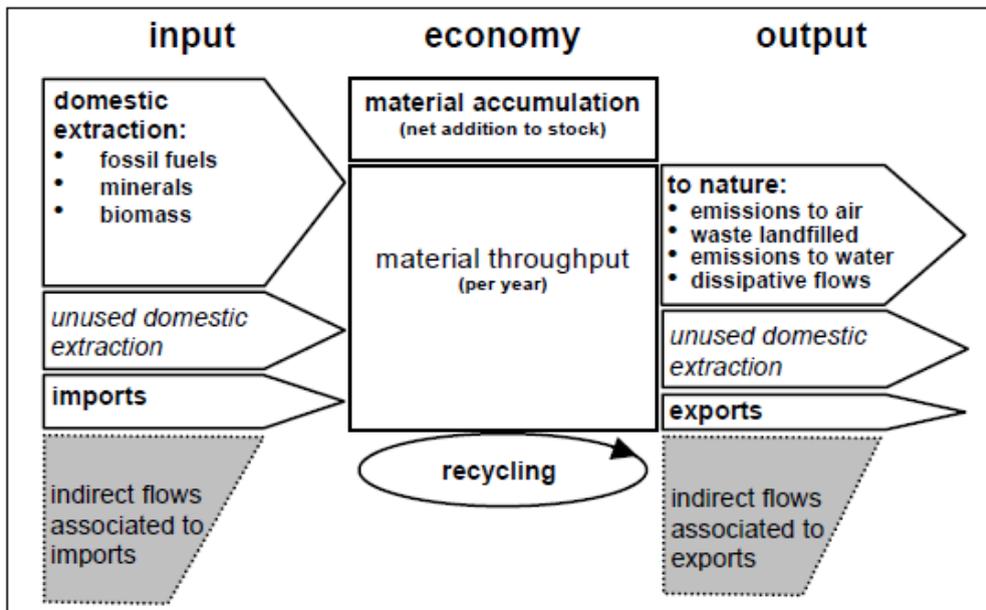


FIGURE B.1 – Comptabilité nationale des flux de matières selon Eurostat⁴. Nos chapitres sont partiellement repérables ici : le premier chapitre concerne la “domestic extraction”, le second la “unused domestic extraction”, le quatrième la “material accumulation” et le dernier le “recycling” et “waste landfilled”.

Quelques très rares recherches ont entrepris de calculer un indicateur, la *Total material consumption* (TMC⁵), qui intègre toute la matière consommée par une économie (excepté l’eau et l’air), y compris tous les flux cachés⁶. Ces travaux ne proposent toutefois que quelques estimations dans lesquelles les terrassements ne sont pas clairement isolés. Pour la France, une seule étude évalue les matériaux d’excavation, qui sont retirés pour faire place aux fondations des immeubles et infrastructures : ils constituent la moitié des matières extraites non utilisées en 2006 et représentent un tiers de la totalité des matériaux (utilisés ou non utilisés) mobilisés par les bâtiments et travaux publics⁷.

4. Eurostat, *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide : 2000 edition*, Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 2001, p. 16.

5. Voici l’équation : TMC = extraction utilisée + extraction intérieure inutilisée + flux directs des importations + flux indirects associés aux importations - flux directs des exportations - flux indirects associés aux exportations.

6. S. Bringezu et H. Schütz, *Total material requirement of the European Union*, Technical Report 55, Copenhagen : European Environment Agency, 2001 ; S. Bringezu, « Possible Target Corridor for Sustainable Use of Global Material Resources », *Resources* 4.1 (2015), p. 25-54 ; J. Kovanda, « Raw material consumption or total material consumption ? Which indicator is better for evaluating material resource consumption and environmental pressure ? », *Environmental Monitoring and Assessment* 192.362 (2020).

7. CGDD-SOeS, *Matières mobilisées par l’économie française. Comptes de flux pour une gestion durable des ressources*, 6, Commissariat Général au Développement Durable - Service de l’observation et des statistiques, juin 2009, p. 19.

B.1 *Unused extraction*

Comme expliqué dans le texte principal, nous avons conservé uniquement les terrassements associés aux grandes infrastructures. Dans notre estimation, nous intégrons le dragage de matières non marchandes⁸ qui est, d'après Eurostat, considéré comme de l'extraction de minerais non-métalliques⁹, – selon les anciens manuels, c'est "le nom des terrassements lorsqu'on doit les effectuer sous l'eau"¹⁰.

Pour rester en adéquation avec notre objet, nous écartons les déblais miniers – ce qui constitue déjà un choix arbitraire puisque l'on pourrait affirmer qu'ils sont issus de travaux de terrassement sur des lieux extractifs¹¹. Les mouvements de matières liés aux activités minières offrent une illustration du paradoxe que nous relevons puisque à la fois quantitativement importants, sans valeur et pourtant au cœur d'aménagements des territoires et de transformations des reliefs. Ils montrent aussi la généralité de notre propos qui dépasse le secteur des travaux publics. Parmi les résidus miniers¹², le flux caché le plus important en France concerne les stériles de l'extraction de charbon. Si nous approximons une tonne de déblai pour une tonne de houille extraite¹³, nous aboutissons à 1,75 Gt de déblais depuis 1945¹⁴. Comme nous l'avons montré au chapitre 5, ces volumes ont produit des collines dans les zones proches des puits : les terrils. On obtient des volumes importants pour d'autres minerais extraits du sol métropolitain, en particulier métalliques¹⁵.

8. Toute l'importance des conventions revient ici puisque le dragage de granulats, matière marchande, existe (chap. 1) et doit être écarté des terrassements.

9. Ceux-ci consistent en "material flows from the environment to the economy related to mining and quarrying of mineral material other than metals and fossil energy carriers such as stone, sand, clay, salt etc. It refers to the extraction from a mine or quarry, but also dredging of alluvial deposits, rock crushing and the use of salt marshes" : Eurostat, *Economy-wide material flow accounts handbook : 2018 edition*, *op. cit.*, p. 57 ; nous n'avons pas inclus les flux du dragage dans Magalhães et al., *op. cit.*

10. Debauve, *Tome premier*, *op. cit.*, p. 6.

11. Ce choix est contestable. Peut-être serait-il pertinent pour l'analyse de penser les mines comme des infrastructures (mines de charbon comme infrastructure énergétique par exemple).

12. BRGM, *Les résidus miniers français : typologie et principaux impacts environnementaux potentiels*, n°R39503, juin 1997.

13. Le rapport peut être bien plus élevé. Moreau compte un minimum de 2 à 3 m³ de stérile par tonne de lignite. Comme l'Allemagne, extrait 215 Mt de lignite en 1931 (4,4 Mt en 1860), il aboutit à 500 Mm³ de stérile – soit 2 Mm³ par journée de travail utile, non compris les chantiers de carrières, de canaux, de chemins de fer, etc. Aux États-Unis, 77,8 Mt extraite en 1928 et le volume total de déblais est de 311 Mm³ – 2 Mm³ extraits journalièrement : Moreau, *Le matériel moderne des travaux publics. Tome I : Terrassements*, *op. cit.*, p. 6-8.

14. Ce chiffre repose sur l'extraction totale de charbon de 1948 à 2004 : Magalhães et al., *op. cit.*

15. Pour le fer, zinc, plomb ou l'argent. Les déchets issus des 76 000 tonnes d'uranium extrait des mines entre 1948 et 2001 sont de deux types : les stériles miniers (environ 170 Mt) extraits pour accéder aux gisements et les résidus de traitement des mines d'uranium (environ 50 Mt, les meilleurs gisements fournissent 1 à 5 kg par tonne de minerai extrait). Les premiers restent sur les anciens sites de production, ou ont servi pour combler des mines, comme matériaux de remblaiement ou en sous-couche routière (environ 2 Mt) près des sites miniers : CGDD, *L'environnement en France - Focus « Ressources naturelles »*. Commissariat Général au Développement Durable, 2020, p. 89.

B.2 Problèmes de mesure

Comme les terres déplacées lors des terrassements sont des flux non marchands, il n'existe pas de statistiques nationales (ou européennes). Pourtant, pour des raisons techniques (anticiper les complications propres à ces transports pour ne pas perdre trop de temps) et surtout économique, les chiffres sont omniprésents dans les archives. Le calcul des volumes est déterminant étant donné le coût des terrassements pour les opérateurs qui doivent disposer d'une estimation relativement précise des mouvements de terre à exécuter. Nous pouvons ajouter, pour la période récente, une raison qui tient à la publicité : les entreprises se vantent des cubes déplacés en un temps record pour mettre en avant la puissance de leur matériel. Il est malheureusement impossible de fournir une série temporelle de ces volumes. En effet, les données sont attribuées à des chantiers précis, souvent des lots ou sections, qui se déroulent sur plusieurs mois ou années, et il est rare de trouver des données annualisées.

Les archives fournissent une idée de la façon dont est réalisée l'estimation sur chaque chantier. On comprend que la précision des estimations est liée au coût (total ou par mètre cube) important des terrassements. Pour les terrassements à ciel ouvert et en sous-terrain, la constatation des cubes se fait facilement. Dans les travaux sous-marins, le volume des matières draguées ou celui des remblais exécutés est estimé à partir du jaugeage des bateaux servant au transport. Le poids des matériaux portés est donné par des échelles indiquant la charge correspondant aux diverses profondeurs d'immersion. Connaissant le poids du mètre cube des matériaux employés, on en déduit facilement le volume¹⁶. Les chiffres du XIXe doivent être lus avec un intervalle de confiance de 20 % : *“le calcul de terrassement de l'avant-projet étant fait, il est toujours prudent d'augmenter le cube total trouvé par ce calcul de 15 à 20 %, si l'on veut qu'il ait un rapport exact avec les cubes réels, lors de l'exécution des travaux ; c'est ce que l'expérience de tous nos travaux nous a démontré”*¹⁷. Les réflexions sur ces volumes font émerger quelques aspects critiques que nous déplaçons dans la suite : la métrique, les absences, le risque de compter double et le foisonnement.

B.2.1 Métrique

A l'époque de réalisation des travaux dans le parc de Marly, l'unité courante de volumes de terre est la toise cube (environ 7,39 m³). Si le mètre cube est devenu la norme, il serait judicieux d'utiliser, le volume fois la distance. Comme le note Reverdy dans sa maxime numéro 7, “le mètre cube n'est pas l'unité de terrassement, c'est le m³ fois km”. De la même façon que toutes les évaluations du transport de marchandises s'appuient sur la “tonne fois km”, plutôt que sur la seule “tonne”, pour comparer les modes de transport et les évolutions, l'idée est de penser le mouvement d'un volume dans l'espace. Cette métrique n'est pourtant jamais calculée. Son usage aurait plusieurs effets :

- elle accentuerait l'écart entre les milliards déplacés au XIXe (sur des petites distances) et XXe (sur des plus grandes distances du fait de machines puissantes et de chantiers plus importants) ;

16. Etienne, Masson et Casalonga, *Tome II, op. cit.*, p. 274.

17. Graëff, *op. cit.*, p. 246-247, en italique dans le texte.

- étant donné les petites distances parcourues par les terres (quasiment toujours inférieure à 10 voire 5 km), elle relativiserait les volumes déplacés par rapport au transport de marchandises sur des centaines ou des milliers de km.

B.2.2 Absences

La liste des volumes absents de nos estimations est longue. Voici quelques éléments.

- Aucun calcul sur les déblais divers (terres, sables et roches plus ou moins compactes) des carrières à ciel ouvert. Parfois des données sont disponibles : fin XIXe, le chiffre du cube de terrassement à faire pour préparer le découvert nécessaire à l'avancement d'une carrière atteint 40 000 à 50 000 m³ – la revue précise que 150 à 200 terrassiers sont en tout temps occupés à ce travail¹⁸.
- Le décapage de la terre végétale, parfois très important, est souvent négligé dans les chiffres des cubes des mouvements de terre¹⁹.
- Nous n'avons aucune idée de l'ampleur des milliers de petits chantiers de moins de 100 mètres cubes, comme ceux des maisons individuelles, réalisés chaque année en France.
- Nous avons négligé les déblais que le capitalisme français transporte à l'étranger. Les multinationales françaises profitent notoirement des marchés étrangers et coloniaux, encore plus à partir du début des années 1970, pour maintenir des profits élevés²⁰. Cette mutation est très visible dans les revues qui s'intéressent toujours plus à ces firmes et à leurs activités au Moyen Orient, en Asie et en Afrique. De fait, les multinationales y façonnent les reliefs. C'est le cas de la construction du chemin de fer du Transgabonais, où les principaux travaux réalisés par l'entreprise *Razel Frères*²¹ entre 1975 et 1986 consistent en des mouvements de terre jamais vus dans ce pays²² : déblais meubles et emprunts meubles : 118,2 Mm³ ; remblais meubles : 54,7 Mm³ ; remblais rocheux : 1,5 Mm³ ; déblais rocheux 6,1 Mm³ ; couche de forme : 1 Mm³.

B.2.3 Ne pas compter double

Un risque important dans la quantification des flux de terre tient au possible comptage double. Quand la profession évoque les déblais et remblais, il s'agit en réalité très souvent des mêmes matières. Reverdy affirme : "Encore ne faut-il pas commettre l'erreur plus ou moins volontaire d'additionner les mètres cubes de déblais et de remblais car il s'agit bien toujours des mêmes matériaux²³ !" Le "vrai volume" déplacé, quand on dispose des chiffres d'un chantier, consiste donc à additionner déblais et emprunts – car les remblais et dépôts s'en déduisent. Ainsi, il serait possible de calculer le total des emprunts et dépôts réalisés en sommant la différence (en valeur absolue) entre déblais et remblais sur chaque chantier.

18. *Les Grandes Industries de France* (jan. 1891, p. 19).

19. *RGRA* (FC, mars 1971).

20. Okalla Bana, *op. cit.*

21. Cette entreprise terrasse aussi en Algérie : plus de 2,7 Mm³ dans les années 1960 : *ibid.*, p. 355.

22. Voir : *PCM* (nov. 1985, p. 26) ; *ibid.*, p. 475.

23. *RGRA* (fév. 1968, p. 62).

Des questions restent en suspens. Que faire dans la situation, très fréquente, où l'article fournit uniquement le "total" des terrassements? Faut-il diviser par deux, ou s'agit-il des déblais et emprunts²⁴?

B.2.4 Foisonnement

Les manuels et les revues (*Annales PC*, *Revue générale des chemins de fer*) du XIX^e discutent toujours du foisonnement des terres, phénomène qui affecte le calcul des volumes : "si le poids à transporter est égal à celui des terres fouillées, le volume à charger en panier, brouettes, camions, etc., et à mettre en cavalier est supérieur à celui de l'excavation²⁵". La raison est simple : "un remblai, exécuté à main d'homme, n'a pas de suite la dureté du déblai qui lui a donné naissance et dont les molécules étaient comprimées, tassées, les unes contre les autres, sous l'action de causes toutes naturelles de longue durée²⁶". Ce foisonnement, lorsqu'il est considérable, rend plus difficile la compensation déblais-remblais – sauf si les prévisions du tassement contrebalancent son influence. La convention est de calculer les mètres cubes sans le foisonnement²⁷. La maxime 24 de Reverdy, "le foisonnement ne concerne pas l'administration", précise : "Ceci veut dire que dans les cubes de déblais comme dans les cubes de remblais, le foisonnement n'apparaît pas et n'intervient pas dans le règlement des travaux, étant donné que le compactage des remblais doit leur donner une compacité au moins égale à celle qu'ils avaient à l'état naturel²⁸". Cette non prise en compte a ses raisons. La principale tient au fait que le coefficient est impossible à déterminer *a priori*, surtout qu'un foisonnement négatif existe pour certaines terres légères²⁹. Le foisonnement peut atteindre 75 %, un mètre cube de terre donne alors 1,75 m³ de déblais³⁰, selon le type de terre³¹ (argileuse ou compacte) et ne peut se calculer que par expérience directe, propre à un terrain³².

Cette convention peut sembler paradoxale tant ce phénomène est important pour estimer l'importance des travaux de terrassement. En effet, l'essentiel du travail du terrassier est de transporter des déblais en remblais d'un point à l'autre du chantier et ce transport concerne des matériaux foisonnés. Dans l'organisation de son chantier et dans la consistance de ses ateliers de terrassement, l'entrepreneur doit nécessairement tenir compte du foisonnement pour utiliser au mieux son parc à matériel³³. Le foisonnement est également important pour les remblais à construire – par exemple sur les voies de chemin de fer. La règle est de lui donner une hauteur plus grande que nécessaire, "parce que les terres rapportées ayant subi un foisonnement, doivent subir un tassement qu'il faut prévoir, et qui s'opère du reste, en partie, pendant sa formation même, soit par le propre poids des terres, soit par le passage des

24. Un exemple, choisi au hasard, illustre la difficulté : un chantier où le volume des déblais est de 4,2 Mm³ mais le volume transporté atteint 6,3 Mm³. Dans ce cas, les apports extérieurs (1,4 Mt) proviennent de carrières (*Travaux*, mars 1997, p. 19).

25. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 255.

26. Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 11.

27. Graëff, *op. cit.*; Debauve, *Tome premier, op. cit.*

28. *RGRA* (fév. 1968, p. 67).

29. Un remblai occupe alors un volume moindre que le déblai qui a servi à l'obtenir : Graëff, *op. cit.*, p. 34.

30. Frick et Canaud, *op. cit.*, p. 11; Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 272.

31. Pontzen, *op. cit.*, p. 5-7; Durand-Claye, *op. cit.*, p. 281.

32. Claudel et Laroque, *op. cit.*, p. 255.

33. *RGRA* (fév. 1968, p. 67).

tombereaux ou wagons de terrassement³⁴”. La surélévation du remblai dépend donc du calcul du tassement, donc du foisonnement. En général, les archives du XIXe prennent le sujet au sérieux et rappellent souvent que le foisonnement n’est pas inclus³⁵. Il était alors courant de réaliser des expériences pour constater le foisonnement sur les chantiers et calculer le coefficient à appliquer pour quantifier le volume de terre excavé³⁶. Hormis quelques apparitions ponctuelles³⁷, ce débat disparaît après 1945.

B.3 Avant 1945

Le “Nouveau Manuel du Terrassier”, régulièrement réédité depuis 1870³⁸, situe un saut quantitatif et qualitatif dans l’histoire des terrassements, au sens où les volumes et les moyens changent radicalement et durablement, avec la construction des canaux et surtout chemins de fer³⁹. Si on comptabilise les milliers de kilomètres d’infrastructures construites et que l’on multiplie par des cubes déplacés par mètre, on obtient autour de quatre ou cinq milliards de mètres cubes depuis le tournant du XIXe jusque 1914. Il faudrait ajouter les déblais miniers, en particulier du charbon, mais aussi les volumes remués pour construire les centaines de kilomètres de tranchées lors de la Première Guerre mondiale.

- Il y a déjà 1 000 km de canaux navigables en 1789 et 4 900 km en 1864⁴⁰. Si on utilise une moyenne de 50 m³ par mètre⁴¹, nous aboutissons à quasiment 200 Mm³ de 1789 à 1864.
- Après les 30 000 km de nouvelles routes construites, en grande partie sous le régime de la corvée, au XVIIIe, le réseau routier connaît sa plus grande croissance au XIXe siècle⁴². Le réseau vicinal passe de 37 000 km en 1836 à 575 000 km en 1914. Pour ce réseau, une moyenne conservatrice de 2 m³ par mètre (50 fois moins qu’une autoroute) conduit à quasiment 1,1 Gm³ déplacé entre ces deux dates. Si nous ajoutons la construction de 37 000 km de routes nationales et 25 000 km de routes départementales entre 1868 et 1914, pour lesquelles les terrassements sont plus importants (a minima le triple, soit 6 m³ par mètre), et si on étend la période, on obtient sans doute 2 Gm³ entre 1836 (loi sur les chemins vicinaux) et 1914.

34. Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 161.

35. Exemple sur le chantier du chemin de fer Dijon-Chalon, section de Beaune, où les ateliers déplacent 381 000 m³ : les “cubes indiqués sont pris au déblai sans foisonnement” (*Annales PC*, 1849, p. 203).

36. Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 272.

37. On le retrouve dans le cas des déblais du tunnel du Mont Blanc : évalués à 900 000 m³ avant, et 1,3 Mm³ après foisonnement. Voir : P. Guichonnet, « L’achèvement du tunnel du Mont-Blanc », *Revue de géographie alpine* 51.1 (1963), p. 152.

38. Etienne, Masson et Casalonga, *Tome I, op. cit.*, p. 1.

39. Selon leur récit technophile, les chemins de fer rapprochent les idées et les peuples, contribuent “à tous les progrès”. Ils transforment les grands travaux d’art et de terrassement, qui avaient fait, selon eux, peu de progrès tant qu’il s’agissait de routes, canaux ou digues de défense.

40. M. Merger, « La concurrence rail-navigation intérieure en France 1850-1914 », *Histoire, économie et société* 9.1 (1990), p. 65-94 ; Guillaume, *Bâtir la ville, op. cit.*

41. Le canal de la Marne au Rhin exige 38 m³ par mètre. Le chantier du canal du Midi aurait exigé autour de 66 m³ par mètre : Graëff, *op. cit.*, p. 246.

42. Guillaume, *Corps à corps sur la route, op. cit.*

- Aux canaux et aux routes s’ajoutent, à partir des années 1830, les chemins de fer ⁴³ : 70 000 km de voies de chemin de fer sont construites jusqu’en 1914. Non seulement il faut beaucoup terrasser pour construire une ligne de chemin de fer, mais, en retour, les rails servent les chantiers en augmentant le volume des évacuations par wagonnets. La *Revue générale des chemins de fer* fournit, pour chaque chantier présenté, le volume déplacé par mètre du linéaire. Le chiffre varie sensiblement ⁴⁴. Pour les 70 000 km de voie, avec une moyenne de 25 m³ par mètre linéaire ⁴⁵ (contre 200 pour une LGV), on trouve 1,75 Gm³. Pour le métropolitain de Paris, on évacue 1 000 m³ par jour, par des tramways (qui roulent jour et nuit), tombereaux à cheval ⁴⁶ et par la Seine. Au total, “on retirera du sous-sol un volume de terre équivalent à celui d’une colline de 70 mètres de hauteur occupant toute la surface de la place de la Concorde” ; sur quelques lots le total atteint 70 m³ de déblais par mètre courant ⁴⁷.
- Il faut ajouter les travaux pour les ports, qui font l’objet de travaux de “modernisation” de grande ampleur à partir des années 1840. Quelques indices nous suggèrent d’ajouter 100 Mm³, et c’est sans doute bien en-deçà de la réalité ⁴⁸ – en comptant dix ports dans lesquels 10 Mm³ auraient été transportés (ce qui semble très faible en 150 ans).

B.4 Depuis 1945

Le chiffre du total de terre déplacé en France depuis 1945 ne sera jamais connu avec exactitude. Nous affirmons qu’il avoisine à 10 Gm³, chiffre rond qui est choisi de façon arbitraire dans le chapitre 2, avec la décomposition suivante :

- 2,5 Gm³ pour le dragage permanent des ports et voies navigables ;
- 1,3 Gm³ (au moins) pour les autoroutes ;
- 1 Gm³ pour les canaux (et entretien) et barrages ;

43. Au cours des années 1850-1870, le trafic des voies navigables a été stable, mais, comparé à celui des voies ferrées, il a connu un déclin indéniable pour le transport de marchandises. A la veille de 1914, le tonnage kilométrique des voies d’eau ne représentait que 19 % du total contre 40 % en 1840 : Neiertz, *op. cit.*

44. Pour un terrain très peu accidenté, comme dans les Landes, la moyenne est de 4 m³ (*Revue générale des chemins de fer*, juil. 1890) ; pour la Grande-Ceinture de Paris, 33 m³ (*Revue générale des chemins de fer*, sept. 1885) ; deux sections entre Vitré et Moidrey, 7 et 10 m³ (*Revue générale des chemins de fer*, juil. 1879, p. 339) ; pour la ligne d’Argenteuil à Mantes, 46 m³ (*Revue générale des chemins de fer*, juil. 1893) ; pour la voie à grande vitesse de Paris à Strasbourg, 28,5 m³ : Graëff, *op. cit.*, p. 246 ; pour les grandes lignes : 29 m³ pour la ligne Avignon-Lyon, et 38 m³ pour la ligne plus accidentée vers Mulhouse (qui réclame, au total, le déplacement de 14 Mm³) : Guillemin, *op. cit.*, p. 49 ; Ruelle décrit une quinzaine de voies ferrées avec des cubes de 18 à 50 m³ (selon que la voie est simple ou double) : Ruelle, *op. cit.*

45. Reverdy, affirme qu’une voie ferrée peu accidentée du milieu du XIXe réclame en moyenne des terrassements de 30 à 40 m³ par mètre (*RGRA*, jan. 1974, p. 34). Sur 915 km de grandes lignes, la moyenne est de 39 m³ par mètre Moreau, *Tome I : infrastructure*, *op. cit.*, p. 541.

46. Une écurie de dix-sept bêtes travaille sous terre sur la ligne 2 en 1903 : Désabres, *op. cit.*

47. Etienne, Masson et Casalonga, *Tome II*, *op. cit.*, p. 207-232 ; Désabres, *op. cit.*

48. Quelques chiffres obtenus grâce à des sources secondaires. Entre 1861 et 1867, 2 Mm³ ont été dragués dans le port de Saint-Nazaire, transporté à 1 500 mètres : Etienne, Masson et Casalonga, *Tome II*, *op. cit.*, p. 251 ; entre 1862 et 1872, les travaux de creusement d’une darse pour doter l’arsenal de Toulon d’un plan d’eau supplémentaire de 19 ha, profond de 10 m, représentent 2 Mm³ de déblais – une partie est réemployée pour former les terre-pleins des quais ou dans les ouvrages de fortifications : B. Cros, « Le patrimoine militaire de la rade de Toulon : histoire, territorialité et gestion patrimoniale », *In Situ. Revue des patrimoines* 16 (2011) ; en 1912, 3,6 Mm³ sont dragués dans ce même port : Okalla Bana, *op. cit.*, p. 174.

- 1 Gm³ pour les chemins de fer (dont au moins 560 Mm³ pour les LGV) ;
- 750 Mm³ pour les autres routes ;
- 500 Mm³ pour la construction des ports ;
- 400 Mm³ pour les sites industriels ;
- 250 Mm³ pour les tunnels ;
- 200 Mm³ pour les aérodromes ;
- 200 Mm³ pour les déblais de la Seconde Guerre mondiale ⁴⁹ ;
- 230 Mm³ pour les espaces dédiés au tourisme (hors aérodromes) ;
- 130 Mm³ pour le nucléaire ;
- 1 à 1,5 Gm³ pour le reste (stations d'épuration, pipelines, grands complexes sportifs, bibliothèques, universités, grands ensembles, tours, extension urbaine, centres commerciaux, entrepôts de stockage, gazoducs, lignes à haute tension, zones industrielles, digues etc.).

Mais les plus petits chantiers, qui passent sous le radar des grands discours aménagistes, rajoutent du vertige au panorama (petits terrains de sport, maisons individuelles, etc.). C'est l'ordre de grandeur qui compte : que le "vrai" chiffre soit 8 ou 16 Gm³ importe peu ici.

B.4.1 Comparaisons

Ce résultat approche-t-il la vérité ? Ce serait l'équivalent de 20 montagnes, puisque nous savons que le plus gros écroulement que l'Europe ait connu en 2000 ans, lorsqu'une montagne entière (Mont Granier) disparaît en 1248 en Isère ⁵⁰ représente environ 500 Mm³. Depuis les années 1990, quelques économistes écologiques cherchent à combler ce manque. L'extraction intérieure "inutilisée" peut être estimée à l'aide de coefficients techniques appliqués aux statistiques physiques des activités concernées (matière extraite ou récoltée, longueur de réseau de transport ou surface de logements construits). De récentes estimations régionales se multiplient en France (Aquitaine, Bourgogne, Bretagne, Haute-Normandie, Val-de-Loire, etc.), avec une méthode qui calque le volume à la valeur monétaire ⁵¹. Au total, les terres d'excavations représentent 222 Mt sur 467 Mt de flux cachés domestiques en 2014 ⁵². Ainsi, les matériaux d'excavation, classés comme "inutilisés" et qui sont retirés pour faire place aux fondations des immeubles et infrastructures, constituent la moitié des matières extraites non utilisées en 2006, et un tiers de la totalité des matériaux (utilisés ou non utilisés) mobilisés par le BTP ⁵³. Pour la région IDF, avant les travaux du Grand Paris Express, le total serait de

49. Il y aurait 72 Mm³ de déblais divers, et des travaux de comblement de trous de bombes qui portent sur 85 Mm³ (*Annales ITBTP*, série QG, avr. 1948, p. 12).

50. J. Berlioz, « L'effondrement du Mont Granier en Savoie (fin 1248). Production, transmission et réception des récits historiques et légendaires (XIIIe-XVIIe siècles) », *Le Monde alpin et rhodanien. Revue régionale d'ethnologie* 15.1 (1987), p. 7-68, Le pilier Bonatti (face ouest des Drus), qui s'écroule en 2005 : 300 000 m³.

51. L'estimation des terres d'excavation fait l'objet d'un calcul basé sur la valeur ajoutée dégagée par les activités de construction. Une étude a établi un coefficient moyen de 2 685 tonnes de terre excavées par million d'euros de valeur ajoutée de la branche construction. Il s'agit ainsi d'appliquer ce coefficient moyen à la valeur ajoutée de la branche construction du territoire faisant l'objet de l'analyse des flux de matières : CGDD-SOeS, *Comptabilité des flux de matières dans les régions et les départements*, op. cit.

52. Une étude aboutit 300 Mt de terre excavés : A. Deboutière et L. Georgeault, *Étude socio-économique et bilan matières de la région Rhône-Alpes*, Institut de l'économie circulaire, mars 2016, p. 17.

53. CGDD-SOeS, *Matières mobilisées par l'économie française*, op. cit.

1,5 t/hab en 2015, contre 4,4 t/hab pour la région Val-de-Loire⁵⁴ – la moyenne pour l’UE-15 en 1997 est de 3 t/hab ; entre 1995 et 2008, la Chine avoisinerait 18 t/hab pour les seuls terrassements⁵⁵.

Si on fait l’hypothèse que sur le temps long, le volume de terrassement est proportionnel à l’extraction de granulats, ce qui est contestable (le bâtiment demande peu de terrassement alors qu’un chantier portuaire ou un canal demande peu de granulats par rapport aux terres) mais pas dénué de logique, et si on prend le chiffre conservateur de 222 Mt de terre excavés en 2014 pour 352 Mt de granulats (c’est-à-dire un ratio de 1,58), on trouve en cumulé entre 1948 et 2015, 12,65 Gt de terre excavés (et 20 Gt de granulats). La conversion du mètre cube à la tonne est très hasardeuse, car la masse volumique dépend trop du type de terre, mais il est fréquent de lire qu’une terre bien compactée atteint maximum 2 tonnes par mètre cube⁵⁶. Sous cette hypothèse, le minimum de terre excavé entre 1948 et 2015 serait de 6,3 Gm³, et certainement 7 Gm³ si on compte jusque 2020. Si on utilise le chiffre donné dans un article (sans méthodologie ni argument) de 200 Mm³/an⁵⁷, à une période d’intenses constructions, le total aboutirait à 15 Gm³ en 75 ans⁵⁸. Nous nous situons entre ces bornes.

B.4.2 Barrages et canaux

Pour partie du fait de la politique énergétique de la IVe République, la période de plus forte production de barrages est certainement le Fordisme. Les nouveaux canaux sont en revanche bien plus rares qu’au XIXe – celui reliant le Rhône au Rhin, qui devait engager 74 Mm³ de terrassement et 2,6 Mm³ de béton, ne sera jamais construit⁵⁹.

On dispose de données pour l’entreprise EDF, nationalisée en 1946. D’après Barjot⁶⁰, les constructions de barrages et centrales dont elle est responsable impliquent un accroissement spectaculaire des travaux de perforation (84 240 km en 1949), des volumes de terrassement (6,9 Mm³ en 1949 contre 1,7 Mm³ en 1947) et des cubages de béton armé (1,06 Mm³ en 1949, 0,53 Mm³ en 1947). De 1947 à 1972, la seule entreprise *Razel Frères* a réalisé pour le compte d’EDF, 47 km de canaux, et près de 35 Mm³ de terrassement de toutes catégories dans une vingtaine d’aménagements de production d’électricité, hydrauliques, thermiques

54. DREAL-CVL, *Comptabilisation des flux de matières à l’échelle de la région Centre - Val de Loire*, Direction régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement du Centre-Val de Loire, octobre 2017 ; Augiseau et Barles, *op. cit.*

55. S. Bringezu et al., « International comparison of resource use and its relation to economic growth », *Ecological Economics* 51.1 (2004), p. 97-124 ; H. Wang et al., « Total Material Requirement of Growing China : 1995–2008 », *Resources* 2.3 (2013), p. 270-285.

56. Debaue compare terre végétale, terre argileuse, terre glaise, etc. Le chiffre varie de 1,2 à 1,8 tonnes. Debaue, *Tome premier, op. cit.*, p. 73.

57. *Bull. liaison* (mars-avr. 1976, p. 9).

58. L’auteur, alors chef de la section de géotechnique routière et terrassements du LCPC, minimise astucieusement ce chiffre en le comparant à la superficie nationale : en divisant 200 Mm³ par 550 000 km², on trouve une épaisseur d’environ 0,4 mm. « Ce chiffre signifie que si l’on faisait tous les déblais dans une moitié du pays pour mettre tous les remblais dans l’autre, on ne parviendrait, au rythme actuel des travaux, à abaisser une moitié de la France d’un mètre et à relever l’autre d’autant, qu’au bout de plus de dix siècles d’efforts. » Plus loin il insiste sur le fait que la puissance ou l’étendue d’action des “forces naturelles” est “sans commune mesure avec celles que l’homme met en jeu”.

59. Voir : *PCM* (oct. 1976) et Pritchard, *op. cit.*

60. Barjot, « Reconstruire la France après la Seconde Guerre mondiale », *op. cit.*

ou nucléaires⁶¹. Reverdy souligne que le chantier de l'autoroute Nemours-Auxerre déplace autant de terre (12 Mm³) que tous les chantiers d'EDF en 1965⁶². Une grande partie du Rhône est aménagée⁶³ : après Génissiat (1948), Donzère-Mondragon (1952), Montélimar (1957), Baix-Logis-Neuf (1960), Beauchastel (1963), Pierre-Bénite (1966), Bourg-les-Valence (1968), Vallabrègues (1970), Avignon (1973) et le Palier d'Arles (1974). A chaque fois, l'écart entre béton et mouvements de terre est béant⁶⁴ : 50 Mm³ de déblais déplacés et 800 000 m³ de béton à Donzère ; 22 Mm³ de terre et 350 000 m³ de béton à Pierre Bénite ; 52 Mm³ pour les terrassements, et 527 000 m³ de béton pour l'aménagement de Vallabrègues qui s'étend sur une vingtaine de kilomètres ; 29 Mm³ de terre et 450 000 m³ de béton pour le barrage de Caderousse (1975). Au total, pour l'aménagement du fleuve entre Lyon et la mer, sur 300 km, l'opération comporte l'exécution de 400 Mm³ de terrassement et la mise en place de 8 Mm³ de béton. Ce type de prise en charge est appliqué au Rhin : 130 Mm³ de matériaux déplacés et 1,25 Mm³ de béton⁶⁵. Pour la Durance⁶⁶ : le barrage et l'usine de Serre-Ponçon, inscrit dans le second Plan sont accompagnés de 19 Mm³ de terrassement, 450 000 m³ de déblais souterrains et 430 000 m³ de béton. Pour la Basse Durance, au moins 25 Mm³ de terrassement et 1,4 Mm³ de béton. Entre 1956 et 1968, la seule entreprise *Razel Frères* réalise 17 Mm³ de terrassement pour aménager la Durance. Le canal de la Durance nécessite de déplacer 100 Mm³ – sans doute une estimation basse du total puisque l'aménagement de la Durance s'achève seulement en 1992. Quasiment tous les grands fleuves et rivières sont affectés⁶⁷ : barrages sur le Rhin (9 usines ou barrages entre 1956 et 1977), la Maurienne, Tarentaise (dont ceux de Tignes, 635 000 m³ de béton, et Roselend), la Loire, la Dorgogne, etc. Sur le Reyran, le barrage de Malpasset est le nom d'un événement dramatique : inauguré en 1954, il se fissure en décembre 1959 et tue 423 personnes dont un nombre important d'ouvriers qui travaillaient sur le chantier de l'autoroute Estérel – Côte d'Azur en aval⁶⁸.

Le chantier du barrage de Mont-Cenis (1953-1968), à la frontière franco-italienne, représente un volume de remblai de 14 Mm³ à lui seul⁶⁹. Le barrage de Serre-Ponçon est un barrage-poids en remblai, dont la base est large de 650 m et le volume total avoisine les 14 Mm³. Entre 1980 et 1985, on construit un énorme barrage en terre et enrochements à Grand-Maison : un volume total de 12,5 Mm³ de matériaux. Moins connu, le barrage-réservoir "Aube", plus grand que le Lac d'Annecy, construit en plus de trois barrages-réservoir existants pour protéger Paris des crues de la Seine⁷⁰, dont le réservoir Marne qui a demandé 10 Mm³, demande plus de 18 Mm³ de déblais pour la réalisation de 13 km de digues en terre et 10 km de canaux. L'aménagement de la chute de Sault-Brenaz : 6 Mm³ dont 400 000 m³

61. Okalla Bana, *op. cit.*, p. 366.

62. *RGRA* (jan. 1967).

63. *Chantiers de France* (jan.-fév. 1972) ; *Travaux* (mars 1976).

64. Dugrand, *op. cit.*, Données tirées de : *L'Équipement Mécanique* (juin 1952, p. 12-13, avr. 1964) ; *Travaux* (mars 1976, p. 46) ; Labasse, *op. cit.*, p. 162.

65. *Chantiers de France* (juil.-août 1970, p. 3).

66. Les données viennent de : *La Houille Blanche* (1963) ; *L'Équipement Mécanique* (1965) ; Okalla Bana, *op. cit.*, p. 360.

67. *La Houille Blanche* (numéro spécial A, 1958) ; *Annales ITBTP* (série TP, fév. 1959).

68. Une hypothèse qui surgit immédiatement après la catastrophe en attribue la cause aux explosions sur ces chantiers autoroutiers. L'ingénieur du projet sera menacé personnellement : Reverdy, *Les routes de France du XXe siècle, 1952-2000*, *op. cit.*, p. 41.

69. *Travaux* (août-sept. 1967).

70. *Chantiers de France* (avr. 1971, p. 11) ; *PCM* (nov. 1982, p. 68).

dans le rocher⁷¹. Le barrage en alluvions compactées de Verney, en aval du premier, fournit un chiffre pour un “petit barrage” : 1,55 Mm³ de matière⁷².

Si les canaux ne sont plus aussi fondamentaux pour les pouvoirs publics qu’au XIXe, quelques chantiers sont inaugurés dans les années 1950. La canalisation de la Moselle s’achève en 1964 (7 Mm³) peu après le Grand Canal d’Alsace (1961). Ces travaux peuvent servir l’irrigation (canal de Provence, long de 270 km, dont les travaux sont lancés en 1964) mais sont le plus souvent en lien avec le développement de secteurs industriels ou la hausse du transport de marchandises⁷³. Le canal Dunkerque – Valenciennes (terminé en 1972), le premier à autoriser des navires à grand gabarit (3 000 tonnes), a pour objectif de relier le secteur sidérurgique (Dunkerque) et le bassin houiller. La canalisation du Rhône sur le tiers-aval doit constituer une liaison fluviale moderne de Marseille vers le Nord, coïncidant avec le développement des installations (sidérurgie, raffinerie, etc.) de Fos-sur-Mer. Le creusement du chenal de Donges⁷⁴ représente de 50 à 63 Mm³ selon les sources⁷⁵.

B.4.3 Production et reproduction des Grands Ports

Les flux nécessaires à la reproduction de l’espace (chap. 2 et chap. 5) fournissent une part très importante des terres déplacées depuis 1945. A partir de deux hypothèses simples, nous trouvons 2,5 Gm³ :

- 40 Mm³ par an pour que les ports soient accessibles aux plus grands navires depuis 50 ans : 2 Gm³ (89 % de ces sédiments sont dragués par les 7 Grands Ports Maritimes⁷⁶, et principalement Bordeaux, Nantes et Rouen)
- 20 Mm³ par an pour la période 1945-1970 : 500 Mm³.

71. *PCM* (fév. 1985, p. 29).

72. Okalla Bana, *op. cit.*, p. 404.

73. *L’Équipement Mécanique* (oct. 1954, nov. 1954) ; *Le Moniteur* (nov. 1958).

74. Déjà 5 Mm³ dans les années 1930 : J.-C. Demaure, « Les contraintes écologiques de l’aménagement de la Loire », *Penn ar Bed*. 12.97 (1979), p. 65.

75. Dans une discussion au CGPC, Foucaud annonce 63 Mm³ ou 100 Mt ; 57 Mm³ pour : *idem, op. cit.* ; 50 Mm³ pour le seul chenal d’accès au complexe portuaire Saint Nazaire-Montoir-Donges : ISTPM, *Effets de l’exploitation des agrégats marins sur les activités halieutiques*, Rapport de fin d’étude 77/1876-32, Nantes : Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes, février 1980, p. 24.

76. Le Havre, Bordeaux, Rouen, Nantes - Saint-Nazaire, Marseille, Dunkerque et La Rochelle.

Tableau 1 : Evolution des quantités de matières sèches draguées en France. Entre 2007 et 2015 (source : rapports annuels d'enquête dragage du Cetmef, devenu Cerema)

Année	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
France et Outre-mer, hors Guyane	26.95	22.22	33.23	18.60	21.15	27.02	26.85	29.02	31.08
Grands Ports Maritimes	22.44	19.45	29.60	15.20	18.35	24.04	23.61	24.83	25.55
Proportions draguées par les GPM (%)	83.3	87.5	89.0	81.7	86.8	89.0	87.9	85.6	82.2

(en millions de tonnes de matières sèches)

FIGURE B.2 – Quantités (en Mt) de matières sèches draguées⁷⁷.

Leur construction a exigé des travaux immenses (surtout dans les années 1970 et à la fin des années 1990). Le cas le mieux documenté est celui de Fos⁷⁸, où les travaux commencent par des dragues qui transportent 20 kt par voyage. Le premier chantier est un chenal de 23 m de profondeur sur 6 km (septembre 1965), condition *sine qua non* de l'accès à Fos par des grands pétroliers. Les machines déplacent alors 30 Mm³ de vase vers le large. Le creusement des darses et des canaux aura nécessité l'enlèvement de 70 Mm³ de sables, limons et graviers, utilisés pour remblayer les terrains à vocation portuaire et industrielle. Le seul mois de mai 1969, plus de 1 500 hectares sont remblayés pour recevoir des activités industrielles⁷⁹. Un premier bilan estime le total à 118 Mm³ dragués en dix ans, dont 57 Mm³ ont pu être réutilisés après refoulement à terre et mise en remblai.

Outre le port autonome de Marseille, à Fos-sur-Mer, les extensions des grands ports autonomes maritimes, et leur mutation en zones industrialo-portuaires, sont au cœur des IVe, Ve et VIe Plan, entre 1958 et 1975⁸⁰. Le dragage du chenal d'accès à Saint-Nazaire représente 5,8 Mm³ en 1969 et 53 Mm³ pour l'approfondissement du Chenal de 1978 à 1980⁸¹. L'extension du port de Dunkerque comprend la création d'un chenal d'accès artificiel de 3,5 km : dragage de 42 Mm³ de sable pour cette opération. Des jetées sont également construites. Elles sont rattachées au rivage par des ouvrages de sable pour lesquels 8,3 Mm³ et 16 Mm³ ont été refoulés⁸². Au Havre, la réalisation d'un terminal pétrolier (Antifer) au milieu des années 1970, en vue de l'accueil des pétroliers géants, a nécessité la construction d'une digue abri, conçue en digue à talus de 3,5 km de développement : 11 Mm³ de terrassement, 30 Mm³

77. GEODE et MTES, *op. cit.*, p. 4.

78. Il existe une très importante littérature sur Fos-sur-Mer qui est un cas prototypique de l'aménagement du territoire. Voir l'excellent webdocumentaire : <https://fos200ans.fr/regards-sur-le-webdocumentaire>

79. Joly et Chamussy, *op. cit.*, p. 840.

80. Voir : *Chantiers de France* (déc. 1981); Magnan, *op. cit.*

81. Voir : *Annales PC* (jan.-fév. 1970, p. 4); G. Boutmin et al., « Sur les possibilités d'utiliser les sables marins comme substitution des sables de Loire dans la région nantaise », dans : La gestion régionale des sédiments, Propriano, Corse, BRGM, 1981, p. 41.

82. *Chantiers de France* (juin 1976, p. 8).

de dragages et 1,5 Mm³ de béton⁸³. Au début des années 2000, il faut y draguer 15 Mm³ pour les nouveaux quais de “Port 2000” et de 45 Mm³ pour le chenal et les digues⁸⁴. A Marseille, 5,5 Mt ont été dragués pour la construction du terminal FOS 2XL alors que l’entretien du port nécessite à peine 0,2 Mt/an⁸⁵.

L’entretien des 8 500 km de voies navigables nécessiterait jusqu’à 6 Mm³/an de sédiments dragués⁸⁶ les dernières années⁸⁷. En estimant une moyenne, de façon conservatrice, à 2 Mm³/an entre 1981 et 2020 et 1 Mm³/an entre 1946 et 1980, on obtient 115 Mm³. Pour avoir un élément de comparaison : plus de 400 Mm³ ont été dragués dans le cadre des travaux d’entretien et d’élargissement du canal de Suez de l’ouverture à la nationalisation de 1956⁸⁸.

B.4.4 Autoroutes

Les chiffres pour les autoroutes (construites quasi entièrement depuis 1960) sont les plus précis : quelques articles s’accordent pour une fourchette entre 80 et 200 m³ au mètre⁸⁹. Attention, toutefois : ces chiffres varient fortement entre les autoroutes de montagne et celles en plaine⁹⁰. Avec une moyenne autour de 100 m³ par mètre, les 13 000 km d’autoroutes représentent 1,3 Gm³ – un chiffre qui pourrait atteindre jusque 2 Gm³.

Le “Service Spécial des Autoroutes” naît dès 1945, avec pour priorité de mener des études pour l’autoroute Paris-Lille. Une description des sections terminales à Lille et Saint-Denis, aboutissent à une estimation globale des travaux⁹¹ : 10 Mm³ de déblais à mettre en remblais, 180 ouvrages d’art et 5 Mm² de chaussées. A part quelques tronçons à l’entrée des villes, le pays ne possède aucune autoroute avant 1960. Le plan du 3 mars 1961 définit dans le détail 3 324 km d’autoroutes à réaliser avant 1975. Les mille premiers kilomètres sont prêts en 1968. En cinq ans le double du volume du chantier de Donzère-Mondragon, environ 100 Mm³, est déplacé pour le seul programme autoroutier qui n’en est qu’à ses débuts⁹². Les moyennes dépassent régulièrement les 150 m³ par mètre linéaire⁹³. Aux congrès mondiaux

83. Y. Monbet, *Evolution des peuplements Benthiques*, Port Autonome du Havre, mai 1980.

84. *PCM* (jan. 2002, p. 55).

85. Foucher, *op. cit.*, p. 15.

86. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/sediment-dragage-dechets-vnf-stockage-valorisation-sedilab-34197.php4>

87. Les chiffres varient ici aussi : en 2002, une étude recommandée par le Ministère de l’Aménagement du Territoire et de l’Environnement portant sur l’historique des opérations de curage d’entretien des sédiments continentaux en France a estimé que le volume dragué chaque année était de 2,8 Mm³.

88. Piquet, *op. cit.*, p. 180.

89. D’après la *RGRA* (fév. 1971), il est rare qu’un km d’autoroute engendre moins de 75 000 m³ de terrassement. Les chiffres sont souvent fournis dans l’échelle du kilomètre. Dans la suite nous indiquerons souvent les chiffres par mètre courant. Au congrès de Tokyo, le rapport français indique une fourchette de 60 à 200 m³ par mètre, selon que la plateforme soit de 27 ou 34 m (l’emprise moyenne totale est de 100 m, de sorte qu’une autoroute “consomme 10 ha/km”).

90. L’autoroute B52, qui traverse des collines accidentées, atteint les 300 m³ par mètre linéaire (*PCM*, oct. 1975, p. 78).

91. *Travaux* (LR, 1946).

92. *L’Équipement Mécanique* (jan.-fév. 1968).

93. Sur la première autoroute Esterel-Cote d’Azur : moyenne de 184 m³ de déblais par mètre sur l’ensemble du parcours (*Annales ITBTP*, série TP, nov. 1961, p. 1130). Autoroute de Normandie : 150 m³ au mètre (*Bull. liaison*, fév. 1963). En 1964, 20 Mm³ de terrassement sur les chantiers de cette seule autoroute. Sur l’autoroute A6, il est prévu de déplacer 30 Mm³ en trois ans et demi – à comparer au 200 000 m³ de béton d’ouvrages d’art, et 6 Mm² de chaussées d’autoroute, voies secondaires et aires diverses (*PCM*, déc. 1969).

de la route, des chiffres de déblais autoroutiers sont donnés sans détails : en 1964, on lit qu'il était de 5 Mm³ "il y a quelques années", environ 15 Mm³ et "bientôt 25 Mm³"; en 1967, le rapport français parle de 100 Mm³ depuis le dernier congrès (de 1964); en 1971, encore 100 Mm³; etc. Si la période 1974-1980 est présentée comme l'âge d'or des autoroutes françaises, avec 2 178 km construits (dont 579 km rien que pour 1976), il y a eu davantage d'autoroutes construites depuis 1980 qu'auparavant. Elles profitent de nouvelles politiques publiques (nouveaux schémas directeurs pour le réseau national en 1987, 1988 et 1990). A la fin 1995, le réseau autoroutier français compte environ 7 400 km de voies, contre 4 100 km en 1980, et bouleverse toujours autant les reliefs⁹⁴.

B.4.5 Autres routes

Hormis les autoroutes, peu de nouvelles grandes routes sont construites après 1945. Au congrès international de la route en 1967, le rapport français estime que les terrassements pour les routes autres que les autoroutes sont de 10 Mm³ par an⁹⁵. A cette époque les terrassements sont encore faibles. En conservant cette moyenne, soit 100 petits chantiers de 100 000 m³ par an, pour le million de kilomètres de routes (nationales, départementales, voiries urbaines, chemins ruraux), on trouve 750 Mm³ pour 1945-2020.

Ce chiffre est le plus incertain, en particulier du fait du peu de données pour le réseau communal qui a sans doute sensiblement grandi avec la périurbanisation. Au vu des données

Les terrassements sur les autoroutes alpines sont évalués à 62 Mm³ (*Travaux*, 1976). Les 213 km entre Lille et Paris (autoroute A1) : 18,3 Mm³ de déblais; 16,4 Mm³ de remblais; 2,5 Mm³ d'emprunts selon : A. Barré, « Etude du trafic sur la partie concédée de l'Autoroute A1 », *Hommes et Terres du Nord* 2.1 (1973), p. 37-64.

94. Pour l'autoroute entre Bourges et Clermont-Ferrand, les terrassements auront nécessité l'exécution de 22 Mm³ de déblais, 15 Mm³ de remblais, 5 Mm³ de matériaux de provenance extérieures, y compris les matériaux nécessaires à la construction des chaussées (PCM, déc. 1987, p. 50). Les revues décrivent chaque mouvement de terre, section par section : à chaque petite section, ce sont des millions de mètres cubes. Section Laon-Reims sur l'A26 : 4,2 Mm³ de déblais (*Chantiers de France*, 1988). Un petit tronçon sur l'autoroute A43, section Verrou-d'Épierre à Saint-Etienne-de-Cuines (9,7 km) : 2 Mm³ de déblais (dont 400 000 m³ mis en dépôt); 2 Mm³ de remblais (dont un remblai en terre armée de 480 m de long). Autoroute A16 : 6 Mm³ (*Chantiers de France*, mai 1993). L'A20 au sud de Cahors : 10 Mm³ de terrassement (*Chantiers de France*, 1996); sur l'autoroute A29 : 2,7 Mm³ de décapage; 4 Mm³ déblais; 2,2 Mm³ de remblais; prélèvement pour couches de forme : 400 000 m³ (*Terrassements & carrières*, 4ème trim. 1996); début des travaux sur l'A 29-A 151 : 4 Mm³ dès la première saison avec au moins 550 000 m³ de décapage (*Terrassements & carrières*, 4ème trim. 1996; *Chantiers de France*, 1997); section Souillac-Brive sur l'A20 : 10 Mm³; section Briare à Cosne-sur-Loire sur A 77 : 4,5 Mm³ en 8 mois (*Chantiers de France*, 1998); un autre lot sur l'autoroute A20 : 7 Mm³ (*Travaux*, 1999). Les autoroutes se font moins nombreuses à partir des années 2000. Sur l'A77, on compte un total de 10,5 Mm³ de déblais, 6 Mm³ de remblais, 3 Mm³ de mises en dépôt (*Travaux*, juil.-août 2001). Le lot du Sancy sur l'A 89 : 9 Mm³ en 23 mois. Travaux sur une partie de l'A28 : 14 Mm³ de déblais et remblais (*Chantiers de France*, 2004). Terrassements sur un tronçon de l'A89 : 3 Mm³ de matériaux à terrasser (*Chantiers de France*, 2007). Comme les JO d'hiver de 1968 avaient remué la terre, ceux de 1992 stimulent les travaux autour d'Albertville : l'autoroute A43/A431, par exemple, consiste en des terrassements de 5 Mm³ (*Chantiers de France*, avr. 1990). Sur 19 km de l'A41, 7 Mm³ de mouvements de terre (*Travaux*, fév. 2008), pour l'A89 on compte plus de 8 Mm³ de déblais sur 50 km (*Travaux*, juil.-sept. 2012). Très récemment, 1 Mm³ de terre ont été déplacés afin de créer la future autoroute A355, qui sert au contournement de Strasbourg, en 2018.

95. "Question II. Établissement des Projets-Terrassements", XIIIe Congrès AIPCR, Tokyo, 1967, p. 3.

qui suivent⁹⁶, ce total est probablement en-deçà de la réalité. Parmi les chantiers importants, il y a les voies urbaines rapides pour le district de Paris, les périphériques⁹⁷ et ses immenses échangeurs (La Chapelle et Bagnolet), les rocades, etc. Environ 1 400 km de voies nouvelles sont construites ou projetées dans les années 1960 en région parisienne⁹⁸. Les travaux sur les routes secondaires peuvent être très importants en fonction du relief. Une bretelle de 6,5 km dans les Landes demande 50 000 m³ en décapage, 350 000 m³ déblais, 500 000 m³ emprunts, 600 000 m³ remblais, 100 000 m³ remblais sur zones compressibles. Une déviation de 14 km sur la RN32 exige plus de 1,8 Mm³ de déblais ; pour celle de la RN114 entre Collioure et Port-Vendres, 900 000 m³ de déblais mis en remblais. Sur la RD438, des ouvrages en terre de hauteur exceptionnelle ont exigé 2 Mm³ de terrassement pour à peine 5,5 km.

B.4.6 Chemins de fer

Les 2 800 km de LGV construites depuis 1981 aboutit, avec une moyenne autour de 200 m³ par mètre linéaire⁹⁹, à 560 Mm³. Ce chiffre ne tient pas compte des travaux de terrassement (comme les élargissements) liés aux autres lignes de chemins de fer (29 000 km) ni les terrassements pour les zones dédiées au fret¹⁰⁰, ni la vingtaine de nouvelles gares TGV. Sans doute avoisine-t-on le giga mètre cube (avec 15 m³ par mètre linéaire sur les lignes qui ne sont pas LGV). Les travaux nécessaires aux LGV ont un coût exorbitant : tant financier, chaque minute gagnée entre Paris-Bordeaux a coûté 130 M€, que métabolique¹⁰¹.

96. Voir : *Terrassements & carrières* (1994) ; *Chantiers de France* (juin 1993, p. 19) ; *Travaux* (avr. 2000, p. 29, jan. 2008).

97. Sur le boulevard périphérique de Paris, les sections de Auteuil-Passy (1,2 km) et Passy-Maillot (2 km) demandent respectivement 550 000 m³ et 700 000 m³ (*Chantiers de France*, jan.-fév. 1971, p. 27).

98. Flonneau, « L'action du district de la région parisienne », *op. cit.*, *Le Moniteur* (22 oct. 1966) ;

99. Nous nous basons sur divers chantiers : 15 Mm³ pour 74 km du TGV Rhône-Alpes entre Diémoz (Isère) et Saint-Marcel-les-Valence (Drôme) ; 57 Mm³ pour 206 km du TGV Méditerranée, soit une moyenne de 276 m³ par mètre (*Terrassements & carrières*, 4ème trim. 1997) ; 34,5 Mm³ de déblais pour 140 km de la branche Est de la LGV Rhin-Rhône, soit une moyenne de 246 m³ par mètre (*Travaux*, nov. 2012, p. 20). Comme une LGV est au moins deux fois moins large qu'une autoroute, la quantité de terrassement par mètre carré est sans doute quatre fois supérieure pour les LGV. Voir : Okalla Bana, *op. cit.*, p. 446.

100. Un exemple : 600 000 mètres cubes pour une installation de triage en 1956 à Champfleury : les matériaux sont dragués dans la Durance pour assurer le remblaiement de 90 hectares. La plateforme du futur triage doit être exhaussée de 4 mètres par rapport à son niveau initial, pour être mise à hauteur des lignes principales.

101. Contournement TGV de Lyon : 23 Mm³ de déblais (*Chantiers de France*, fév. 1990). Le TGV Nord (*Travaux*, 1992) : décapage : 4,8 Mm³ ; déblais : 27 Mm³ ; remblais : 24,5 Mm³ ; corps de remblai (y compris emprunts) : 9,6 Mm³ ; couche en forme : 2,9 Mm³ ; sous-couche : 1 Mm³. TGV Méditerranée (295 km de voies à construire) : 500 ouvrages d'art, 38 Mm³ de remblais, 28 Mm³ de déblais, 18 Mm³ d'emprunts locaux (*Terrassements & carrières*, mars-avr. 1996 ; *Le Moniteur*, déc. 1998). Terrassement d'un petit lot de 28 km pour la LGV Est (*Chantiers de France*, mai 2003) : mouvement global de 7 Mm³. Pour la LGV Rhin-Rhône : 30 Mm³ à terrasser (*Le Moniteur*, nov. 2008) ; pour un seul lot de 37 km on compte 13 Mm³ de déblais (*Terrassements & carrières*, 2008, n°104, p. 23). En 2012, le contournement de Nîmes et Montpellier : 8,5 Mm³. La dernière partie de la ligne LGV Paris-Strasbourg : 5,3 Mm³ de déblais, dont 2,8 vont en dépôt, pour 34 km (*Travaux*, juil.-sept. 2012, p. 29). LGV Tours-Bordeaux : 50 Mm³ (*Le Moniteur*, juin 2013) ; LGV Bretagne – Pays de la Loire : 45 Mm³ (*Le Moniteur*, août 2013). Le total de la LGV Paris-Rennes : 26 Mm³ (2017) ; LGV Est : 83 Mm³. Pour les travaux de TGV Atlantique (1978-1991) : 23 Mm³ de terrassement, 3,4 km de viaducs et 20,8 km de tunnels ou de tranchées couvertes : Okalla Bana, *op. cit.*, p. 393.

B.4.7 Aérodrômes

En 1945, la remise en état de plus de 300 aérodromes et la construction de plus de 500 000 m² de pistes figure parmi les priorités dans le domaine aérien. On compte aujourd'hui une centaine d'aérodromes commerciaux et au moins 550 petits aérodromes. L'aménagement des pistes d'aérodromes de l'OTAN constitue d'importants déplacements de terre au tournant des années 1950. A la même époque, des centaines de nouvelles pistes sont construites un peu partout¹⁰². L'entreprise *Razel Frères* terrasse, à elle seule, 4 Mm³ pour les pistes d'envol entre 1945 et 1960¹⁰³. Du côté des aérodromes parisiens, Orly-Sud est construit entre 1957-1961. Pour la tranchée routière de la RN7 qui y mène, on compte 1,1 Mm³ de déblais. On recense 6,5 millions de voyageurs (5,1 millions à Orly, le reste au Bourget) en 1965, lorsqu'un arrêté ministériel concrétise le choix de la construction d'un troisième aéroport à Roissy (inauguré en 1974). Tous les aéroports (Toulouse, Marseille) vont grandir : dès 1971 débute la construction de Orly-Ouest ; une nouvelle aérogare à Roissy en 1979. A Lyon Saint-Exupéry (auparavant Lyon-Satolas), 1,9 Mm³ de terrassement sont nécessaires. A Nice l'extension de l'aéroport sur la mer passe par le remblaiement du delta sous-marin du Var qui requiert à lui seul 18 Mm³ de matériaux de terrassement. Il y a moins de nouvelles constructions après 1980 (sauf Mulhouse et des aéroports régionaux destinés à attirer des compagnies à bas-coût), mais les autres grandissent (nouvelles pistes, nouveaux terminaux, nouveaux parkings, desserte par train). Presque 10 Mm³ pour les terrassements des pistes 3 et 4 à Roissy¹⁰⁴. La piste 3 d'Orly est refaite en 2019¹⁰⁵ pour 400 000 m³.

B.4.8 Tunnels

Nous évaluons le total des déblais des tunnels à 250 Mm³ (au minimum). Les chiffres sont relativement précis du fait que l'équilibre déblais-remblais n'existe pas. Nous estimons : 100 Mm³ dans les villes ; 50 Mm³ en montagne ; 12 Mm³ pour le tunnel sous la Manche ; 40 Mm³ pour le Grand Paris Express.

Environ une centaine de tunnels routiers de plus de 500 m sont construits à partir des années 1970 : 50 Mm³ avec une moyenne de 1 km, une largeur de 10 m et une hauteur de 5 m. Disons 20 tunnels du même type entre 1945 et 1970 : 10 Mm³. Pour rappel, il y a 1,3 Mm³ de déblais après foisonnement¹⁰⁶ pour le tunnel du Mont Blanc (23 ouvriers tués et 800 blessés). Pour la seule rénovation du tunnel en 1980 (long de 14 km, achevé en 1971 après 15 années de travaux) : 500 000 m³. Tunnels urbains : 10 Mm³ pour les petites villes. On pense par exemple aux tunnels dans les zones urbaines et périurbaines (comme le tunnel de 10 km construit entre Rueil-Malmaison et Jouy-en-Josas sur l'autoroute A86 en 2011).

Il faut ajouter les tunnels ferroviaires. Entre 1828 et 1980, environ 638 km, pour 1 659 tunnels, ont été percés – dont 80 % avant 1900¹⁰⁷. Les tunnels ferroviaires après 1945 sont

102. A Strasbourg, Reims, Marignane, etc. Espérou, *op. cit.*

103. Okalla Bana, *op. cit.*, p. 357.

104. Pour Roissy : *L'Équipement Mécanique* (déc. 1969) ; *Travaux* (avr. 1973) ; *Chantiers de France* (1997) ; *Terrassements & carrières* (1er trim. 1998 ; 3ème trim. 1999) ; Lyon : *Travaux* (mars 1975) ; Nice : *Travaux* (avr. 1976, p. 26) ; Orly : *Travaux* (oct. 1957, p. 499).

105. <https://www.lemoniteur.fr/article/la-piste-3-d-orly-se-refait-une-beaute.2049370>

106. Guichonnet, *op. cit.*, p. 152.

107. *Annales PC* (3ème trim. 1981, p. 93).

moins nombreux, mais peuvent être plus longs. On compte environ 9 Mm³ de déblais pour le tunnel sous la Manche, et 12 Mm³ pour le total des terrassements. Un petit tunnel (2 km) pour LGV¹⁰⁸ : 224 000 m³ de déblais. Le tunnel de la future ligne Lyon-Turin (57 km) représente 37 Mt de déblais¹⁰⁹. A Lyon et Marseille (puis Lille et Toulouse), on équipe les villes en métro à partir des années 1970, avec des stations plus grandes que les premières à Paris¹¹⁰. Les travaux de la première ligne de métro à Marseille (1973-1978) ont nécessité l'évacuation de 900 000 m³ de déblais¹¹¹. Disons 40 Mm³ sur toute la période pour ces 4 grandes villes. La construction d'une troisième ligne de métro à Toulouse, exige 6 Mt de déblais¹¹².

B.4.9 Tourisme : côtes et montagnes

En plus de la construction et de l'extension des aéroports, les pouvoirs publics ont massivement soutenu, directement ou indirectement, l'équipement du pays en infrastructures pour un tourisme de masse. Nous ne considérons que trois types d'aménagements : ports de plaisance (120 Mm³) et stations balnéaires (30 Mm³), stations de sport d'hiver (50 Mm³) et parcs de loisirs (30 Mm³).

Dans le Languedoc-Roussillon, l'État promet un aménagement touristique et une "Nouvelle Floride" (titre de Paris Match) : il veut construire six unités touristiques et ajouter un poumon de "nature sauvage" en Camargue. Les surfaces dédiées à la production de riz en Camargue passent de 4 000 ha à 30 000 ha entre 1948 et 1958 ; en moyenne, 1 000 m³ de terre sont déplacés par hectare¹¹³. Outre la démoüstication, il faut bétonner, remodeler, désaliniser. Et terrasser : à la Grande Motte on déplace 6 Mm³ de sable. Pour chaque port de plaisance du Languedoc-Roussillon, il est nécessaire de construire des jetées, digues, bassins, etc. A Leucate et Barcarès : 7,5 Mm³ de sable déplacés par dragage à l'emplacement des marinas, et déposés en remblais par refoulement pour constituer les plateformes de zones à urbaniser¹¹⁴. L'aménagement de la côte Aquitaine par la DATAR, décidée en mai 1967, inclut des ports de plaisance, bases de loisirs, et une forte hausse de la capacité d'hébergement estival. Celle-ci atteint 310 000 touristes en 1973 et les aménageurs prévoient de l'augmenter à 585 000 en 1980. Voies rapides et voies navigables sont également prévues – le canal Transaquitain, long de 200 km, ne sera toutefois jamais construit¹¹⁵. Des ports sont encore construits aujourd'hui. En Bretagne : à Saint-Cast, 130 000 m³ de déroctage et 370 000 m³

108. *Terrassements & carrières* (n°98, 2008, p. 20).

109. <https://www.lemoniteur.fr/article/quel-devenir-pour-les-materiaux-excaves-sur-le-tunnel-de-base-du-lyon-turin.1497914>

110. Sur la Ligne A du RER : 380 000 m³ pour la station de la Défense (*L'Équipement Mécanique*, août-sept. 1967), 1,1 Mm³ de déblais pour celle de Châtelet-Les Halles (PCM, avr. 1978). La ligne RER qui relie Roissy à Paris en 1974 nécessite 800 000 m³ (*Travaux*, avr. 1976). Ligne D du RER entre Gare de Lyon et Châtelet : 100 000 m³ de déblais (*Chantiers de France*, nov. 1993).

111. http://www.lithotheque.ac-aix-marseille.fr/Affleurements_PACA/MarseilleMetro/deblais.htm

112. <https://www.ladepeche.fr/2021/06/03/cinq-tunneliers-et-6-millions-de-tonnes-de-deblais-9582634.php>

113. *Amis de la Nature* (juil. 1960).

114. *L'Équipement Mécanique* (juin-juil. 1967) ; *Chantiers de France* (1968).

115. P. Barrère et M. Cassou-Mounat, « Le schéma d'aménagement de la côte Aquitaine », *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest* 44.2 (1973), p. 303-320.

de dragage pour que le sol marin soit à 2 mètres de profondeur¹¹⁶ ; l'étude d'impact pour la réalisation d'une plateforme de réparation pour "méga-yachts" à La Ciotat¹¹⁷ estime que le projet exigera l'excavation de 134 000 m³ – il est désormais achevé. Le dragage moyen annuel est de 1,2 Mm³/an pour des petits ports de plaisance¹¹⁸.

Des stations de sports d'hiver sont créées *ex nihilo* à partir de 1961¹¹⁹. Trente stations nouvelles sont créées entre le IV^e et le V^e Plan. L'État crée en 1964 la Commission interministérielle pour l'aménagement touristique de la montagne, dont le rôle est de recenser les sites skiables et d'harmoniser les aides publiques en vue de leur équipement. Le "plan neige" bénéficie directement aux capitaux privés¹²⁰. De nombreux travaux d'extension sont réalisés jusqu'à aujourd'hui. Ainsi, la création d'une retenue d'eau à Arc 2000, pour alimenter tout le domaine skiable en neige de culture, a demandé plus de 470 000 m³ de terrassement "verts"¹²¹. Au total pour l'ensemble des stations depuis 1945 : minimum 50 Mm³. Toujours dans des régions montagneuses, nous pouvons ajouter les terrassements réalisés pour les Jeux Olympiques (JO) d'hiver de Grenoble en 1968 et Albertville en 1992. Le relief exigé par trois petits sites de compétitions sportives (bobsleigh, tremplins de saut à ski) conduit au mouvement¹²² de 670 000 m³. Les JO incitent à la production d'infrastructures : la construction de l'autoroute A43/A431¹²³ à Albertville exige, par exemple, des terrassements de 5 Mm³. Dans une fuite en avant flagrante face au réchauffement climatique en montagne, les nouveaux chantiers ont été entrepris les dernières années afin de construire des bassins destinés exclusivement à produire de la neige artificielle.

Il faut ajouter les 300 parcs de loisir en France (70 millions de visiteurs par an en 2018) : au moins 30 Mm³. Il faut 1 Mm³ pour le Parc de Détente et de Loisirs du Tremblay¹²⁴ ; pour Eurodisney : 4 Mm³ ; pour l'extension et la création du parc à thèmes dédié au cinéma Walt Disney Studios¹²⁵ : 1,6 Mm³ ; Astérix¹²⁶.

116. *Terrassements & carrières* (2008, n°101, p. 24-26).

117. https://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/33983/194957/file/DAE_Megayachts_R%C3%A9ponseMRAE-V.FINAL_9dec.pdf

118. Par exemple le port d'Audierne dans le Finistère : Foucher, *op. cit.*, p. 36 ; la moyenne atteint 100 000 m³ par an entre 2007 et 2014 au port de Legué : Groupe de Travail Dragages portuaires, *Pour une vision partagée des opérations de dragage portuaire en Bretagne*, Conseil Régional de Bretagne, mars 2017, p. 6 ; le volume moyen dragué s'établissait à 34 000 m³ pour les 31 ports de la façade atlantique et nord-ouest et 6 000 m³ pour les 23 ports de la façade méditerranéenne : GEODE et MTES, *op. cit.*, p. 9.

119. Voir : *PCM* (fév. 1970, fév. 1976).

120. Avoriaz, Les Arcs, Le Corbier, Flaine, Isola 2000, Montchavin, La Plagne, ou Val Morel ont été créées par un promoteur privé. Les Menuires, Orcières-Merlette ou Les Orres ont été créées par un promoteur parapublic (avec participation d'un Département ou de la Caisse des Dépôts et Consignations) ; seule la station des Karellis a été créée grâce à des capitaux publics. Voir : Knafou, *op. cit.*

121. Un chantier "vert et technologique" selon *Terrassements & carrières* (2008, n°105, p. 19).

122. Pour les épreuves de bobsleigh à l'Alpe d'Huez, une piste en béton d'une longueur de 1,7 km a été construite : 130 000 m³ de terrassement et 3 700 m³ de béton. Pour l'épreuve de grand saut de 90 m à St-Nizier-de-Moucherotte : 300 000 m³ – "malgré la bonne disposition du site" précise l'article. Les tremplins olympique et d'entraînement : 240 000 m³ (*RGRA*, jan. 1968, p. 78-82).

123. *Chantiers de France* (avr. 1990).

124. *PCM* (déc. 1974).

125. <https://www.batiactu.com/edito/nouveau-parc-disney-a-ouvert-ses-portes-12026.php>

126. Ajouter une attraction dans ce parc entraîne 20 934 m³ de déblais et 2 837 m³ de remblais : https://www.oise.gouv.fr/content/download/62882/383751/file/2_Evaluation%20environnementale.pdf

B.4.10 Nucléaire

Les 18 sites de centrales nucléaires, à 7 Mm³ le site : 126 Mm³. Si la surface des centrales est relativement petite, les chantiers de terrassement sont importants : canal de rejet, canal d'amenée, digues de protection, etc. On compte 4,5 Mm³ à Dampierre, 6 Mm³ à Blayais (avec 2 Mm³ de vases extraites), 7 Mm³ à Gravelines, 3,5 Mm³ pour Tricastin¹²⁷, 15 Mm³ déplacés à Paluel et Penly, 9 Mm³ à Flammanville et 5 Mm³ à Saint-Alban¹²⁸. Il faut ajouter la centrale de La Hague (un peu moins de 1 Mm³), 2,3 Mm³ de déblais pour le nivellement de 40 ha, sans compter les travaux annexes (voiries, bassins, chenal de dérivation, etc.), à ITER¹²⁹, et les 265 km de galeries pour Bure¹³⁰ (10 Mm³).

B.4.11 Autres

A côté des chantiers monumentaux qui attirent l'attention des revues et de la presse, des milliers de petits chantiers de quelques kilomètres et les milliers de travaux qui concernent l'équipement urbain (scolaire, sportif, culturel, sanitaire et social) et les bâtiments administratifs pèsent de tout leur poids dans l'addition finale. Nous attribuons 1 Gm³ à cet ensemble pour toute la période. Les chiffres qui suivent sont des estimations, dont certaines peuvent être bancales.

- En ville, les années 1960 et 1970 sont synonymes de villes nouvelles, mais aussi routes et voies ferrées jusqu'aux nouvelles gares, multiplication des parkings souterrains, etc. Les villes d'Évry, Cergy-Pontoise¹³¹, Saint-Quentin-en-Yvelines, Marne-la-Vallée, Melun-Sénart (pour la région parisienne¹³²) doivent être entièrement construites : des milliers d'hectares de terrassement¹³³. Pour donner un exemple, il faut évacuer 1,2 Mm³ pour le chantier des Halles¹³⁴. L'étalement urbain appelle le creusement de tranchées et des terrassements pour ménager l'accès aux réseaux électriques et sanitaires. Des travaux au cœur de Marseille remuent 5,2 Mm³ au début des années 1990¹³⁵. Un minimum de 150 Mm³ (2 Mm³ par an) semble acceptable.
- Stades divers¹³⁶ : 20 Mm³, dont stades de foot : 10 Mm³. Les données sont connues pour les grands stades : Stade de France : 800 000 m³ ; stade de Lyon : 1 Mm³ ; Stade de Nice : 200 000 m³ de déblais ; extension stade Jean Bouin : 100 000 m³ ; stade océane du Havre : 87 000 m³ ; nouveau stade de Bordeaux : 80 000 m³.

127. EDF, *La centrale nucléaire du Tricastin. Une production d'électricité au cœur des régions Auvergne-Rhône-Alpes, Occitanie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur*, Dossier de presse, 2019.

128. Voir : *Chantiers de France* (1976) ; *PCM* (oct. 1977, nov. 1980, p. 23, oct. 1982) ; *Travaux* (1980), et Okalla Bana, *op. cit.*, p. 408.

129. *Travaux* (sept. 2010, p. 40).

130. <https://www.andra.fr/sites/default/files/2018-02/504.pdf>

131. 300 000 m³ pour Cergy-Pontoise, sans le parc immobilier (*Chantiers de France*, mars 1972, p. 33).

132. Ailleurs : L'Isle d'Abeau, Lille-Est devenu Villeneuve-d'Ascq, etc.

133. Voir : *RGRA* (avr. 1968) ; *PCM* (juil. 1970, oct. 1971) ; *Chantiers de France* (jan.-fév. 1968, mars 1972, mai 1972, sept. 1972).

134. *Le Moniteur* (14 avr. 1973, p. 41).

135. *Chantiers de France* (1994).

136. Toutes les données pour les stades proviennent de sites internet.

- Piscines privées et publiques : 100 Mm³. Il y aurait, selon la Fédération des Professionnels de la Piscine et du Spa¹³⁷, 1,5 million de piscines enterrées (les autres hors sol). Si l'on prend une taille moyenne de 64 m³ (8 m x 4 m x 2 m), on trouve un total de déblais des piscines : 83,2 Mm³. Il faut ajouter toutes les piscines publiques et les grands complexes aquatiques pour arriver à une estimation de 100 Mm³.
- Pour un parcours standard de 18 trous, compter au minimum 50 000 m³ de terrassement¹³⁸. Quant aux golfs haut de gamme, il n'est pas exceptionnel d'atteindre des volumes de terre déplacée de l'ordre de 700 à 800 000 m³ (golf du Lavandou dans le Var). Total pour les 2 000 golfs (une majorité de 9 trous) : 50 Mm³.
- 806 centres commerciaux, avec une moyenne de 50 000 m³, donnent un total de 40 Mm³. Le total des surfaces commerciales autorisées connaît une grande accélération entre 1997 et 2011. Depuis 1974, il atteint 80 Mm² (*Le Monde Diplomatique*, juin 2021). A côté des immenses (Parly 2, Vélizy 2), les petits accumulent les déblais. A Carcassonne : 27 000 m²; centre commercial Muse devant le Centre Pompidou de Metz : 180 000 m³ de terre.
- Il y aurait d'après Wikipedia¹³⁹ 500 000 ha de zones d'activités (industrielles, logistiques, etc.). Un minimum de 150 Mm³.
 - Zones industrielles¹⁴⁰ : 5 Mm³ pour les déblais et remblais pour l'extension de La Hague; 1,5 Mm³ pour installer Toyota à Valenciennes. Avec 373 ha au total entre Hambach et Willerwald, la ZAC communautaire est la plus grande zone industrielle de Lorraine. Le chantier remue 1,7 Mm³ de déblais-remblais pour 782 000 m² de plates-formes et voiries. Le remblaiement de l'Île Séguin pour accueillir l'usine Renault au début des années 1930 avait exigé 600 000 m³.
 - La plateforme multimodale de Dourges : 2 Mm³ sur 337 ha¹⁴¹.
 - Zones logistiques¹⁴² : fin 2015, la France métropolitaine compte 4 432 entrepôts ou plates-formes logistiques de plus de 5 000 m². Un tiers est exploité par des entreprises du transport et de l'entreposage. Un exemple : le plus gros entrepôt d'Amazon (il en existe 22 en 2020) en France, en Picardie¹⁴³, a exigé la transformation de 27 hectares de pâturages et 235 000 m³ de déblais. Autre exemple : une plateforme logistique de CONFORAMA¹⁴⁴ de 33 ha : 100 000 m³.

137. FPP, *Piscines privées : un phénomène français qui se confirme!*, Dossier de presse, Fédération des Professionnels de la Piscine et du Spa, avril 2022.

138. R.-P. Desse et C. Meur-Ferec, « Le golf en France : enjeux fonciers », *Annales de Géographie* 103.579 (1994), p. 471-490.

139. https://fr.wikipedia.org/wiki/Zone_d%27activit%C3%A9

140. Les données viennent de : *Travaux* (juil. 1934, p. 275, oct. 1987, p. 34); *Chantiers de France* (1998); *Travaux* (sept. 1999)

141. *Terrassements & carrières* (n°48, 2ème trim. 2002, p. 14-15).

142. Ces espaces sont relativement peu étudiés dans la littérature. N. Raimbault, « Gouverner le développement logistique de la métropole : périurbanisation, planification et compétition métropolitaine. Le cas du Bassin parisien et éclairages étrangers », Thèse de doctorat en aménagement et urbanisme, Université Paris-Est, 2014.

143. <https://www.cemex.fr/-/fiche-chantier-3-juillet-2017>

144. <https://www.idec-ingenierie.com/article-fr/construction-du-plus-grand-entrepot-logistique-de-france-par-idec-point-detape-1/>

- Stations d'épuration / usines de traitement. A partir d'une moyenne de 15 000 m³ par station¹⁴⁵, et avec 22 000 stations¹⁴⁶, on trouve : 330 Mm³.
- Bases militaires navales (Brest, Toulon, etc.) ou aériennes : 100 Mm³.
- Grandes tours : fouille qui peuvent aller jusque 300 000 m³ pour certains ilots à la Défense¹⁴⁷. Avec une moyenne de 100 000 m³ et 100 tours en France de 100 mètres ou plus¹⁴⁸, nous trouvons 10 Mm³.
- Pour 1 500 mètres cubes par éolienne¹⁴⁹, les 8 000 éoliennes terrestres présentes sur 1 380 parcs en 2018 : 12 Mm³.
- Minimum pour les musées et bibliothèques¹⁵⁰ : 20 Mm³. Par exemple : Musée du Quai Branly : 200 000 t de déblais ; BNF : 1 Mm³ ; Louvres-Lens : 130 000 m³ ; Pompidou Paris : 300 000 m³.
- Parkings souterrains¹⁵¹ : 10 Mm³.

145. Une station de Nantes exige 180 000 m³, une à Limoges 80 000 m³ (*Le Moniteur*, fév. 1999, août 2000). Ces chantiers médiatiques concernent sans doute de grandes stations. Un très grand nombre de stations sont dédiées à des villages de moins de 1 000 habitants.

146. <https://www.eaufrance.fr/chiffres-cles/nombre-de-stations-de-traitement-des-eaux-usees-en-2016>

147. *Chantiers de France* (mars 1971, p. 45).

148. Selon Wikipedia (consulté le 11 avril 2022) : https://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_gratte-ciel_et_IGH_en_France

149. <http://www.asso3d.fr/phasesdeconstructiondunparceolien.pdf>

150. Voir : *Chantiers de France* (fév. 2003, p. 41) ; *Le Moniteur* (mars 2010) ; <http://passerelles.bnf.fr/albums/fmitterrand/index.htm>

151. *Chantiers de France* (jan.-fév. 1968).

Annexe C

Poids des routes

Avec des hypothèses conservatrices, le stock avoisine les 3 Gt. A titre de comparaison, le réseau étatsunien est 5 fois plus lourd (il est 7 fois plus long). Rappelons que l'ensemble des routes se décompose en plusieurs réseaux : réseau national (inclut les autoroutes et routes nationales), routes départementales, routes communales et chemins ruraux. La surface totale atteindrait 7 Gm² dont 0,3 Gm² pour le réseau national (figure C.1) – ce qui signifie que le stock moyen (qui cache d'immenses écarts) est de 3/7 (ou 0,43) tonnes par mètre carré. Le réseau de routes communales et chemins ruraux reçoit un trafic inférieur à l'équivalent de 25 poids lourds/jour pour 80 % du réseau; environ 5 % de ce réseau nécessite un entretien annuel¹. La surface des bords de route est estimée à 2 850 km² pour les nationales, départementales et 2 000 km² pour les voies communales².

Les caractéristiques du réseau de routes communales et chemins ruraux sont³ : une chaussée de largeur entre 3 et 5 mètres pour 75 % du réseau, une structure souple, un matériau de la structure non traité et souvent hétérogène (briques, gravats, pierres, etc.), posé sur un fond de forme souvent argileux ou limoneux, une absence de protection contre le gel.

Utilisons des hypothèses conservatrices :

- On utilise les totaux suivants⁴ : 12 400 km d'autoroutes (dont 9 100 km sont concédées); 8 500 km de RN (dont 2 757 km à caractéristiques autoroutières); 380 000 km de RD; 600 000 km de RC⁵; et 600 000 km de chemins ruraux.
- On néglige les 100 000 ouvrages d'art (ponts, murs de soutènements) et les tunnels.
- On néglige le mobilier (lampadaires, barrières de protection, signalétique).
- On néglige les terrassements.
- On suppose qu'il n'y a pas de liant dans les chemins ruraux.

1. CIMbéton, *Le retraitement en place à froid*, op. cit., p. 3.

2. Soit plus que la surface totale des sept parcs nationaux français : Mallard, op. cit., p. 59.

3. CIMbéton, *Le retraitement en place à froid*, op. cit., p. 3.

4. Au 1er janvier 1860, les totaux des chemins sont : 77 000 km de grande communication; 62 000 km d'intérêt commun; 425 000 km vicinaux ordinaires. Avec respectivement 8 500 km, 21 000 km et 215 000 km de sol naturel (*Nouvelles annales de la construction*, oct. 1861, p. 142).

5. Un rapport affirme que la longueur atteint 700 000 km en 2019 : Routes de France, *Etat de la route 2021*, 2021, p. 22.

Tableau 1 : Répartition du réseau routier français en fonction de la nature du réseau et par classe de trafic					
Réseau routier français en 2016	Longueur (km)	Surface (m ²)	Longueur (km) Surface (m ²) par classe de trafic		
			t > t ₃₊	t ₅ ≤ t ≤ t ₃₊	t ≤ t ₆
RÉSEAU NATIONAL					
• Autoroutes concédées et non concédées	11 250	2,25 x 10 ⁸	11 250 2,25 x 10 ⁸	0	0
• Routes nationales	9 020	9,10 x 10 ⁷	9 020 9,10 x 10 ⁷	0	0
RÉSEAU DÉPARTEMENTAL	378 000	2,30 x 10 ⁹	180 000 1,25 x 10 ⁹	198 000 1,05 x 10 ⁹	0
RÉSEAU COMMUNAL	635 000	2,55 x 10 ⁹	50 000 0,45 x 10 ⁹	275 000 1,10 x 10 ⁹	310 000 1 x 10 ⁹
RÉSEAU RURAL					
• Routes forestières	250 000	7,50 x 10 ⁸	0	100 000 3 x 10 ⁸	150 000 4,5 x 10 ⁸
• Chemins d'exploitation	350 000	1,05 x 10 ⁹	0	100 000 3 x 10 ⁸	250 000 7,5 x 10 ⁸
TOTAL	1 633 270	6,966 x 10 ⁹ (100 %)	250 270 2,016 x 10 ⁹ (29 %)	673 000 2,75 x 10 ⁹ (39 %)	710 000 2,2 x 10 ⁹ (32 %)

FIGURE C.1 – Réseau routier français en 2016⁶.

Nous trouvons environ 3 Gt de granulat, avec :

- Par kilomètre d'autoroute : 30 kt de granulat.
- Par kilomètre de RN : 10 kt de granulat (dont la moitié lors des renforcements).
- Par kilomètre de RD : 5 kt de granulat.
- Par kilomètre de RC : 1 kt de granulat.
- Par kilomètre de chemin rural : 32 t de terre par km ou 231 t de gravier par km selon deux scénarios⁷. Cela ajouterait entre 19,2 Mt et 138,6 Mt.

Les liants (hydrauliques⁸ ou hydrocarbonés⁹) sont négligeables en comparaison. Un total approximatif de 56 Mt avec¹⁰ :

- 300 t par km pour le réseau national
- 100 t par km pour RD
- 20 t par km pour RC

6. CIMbéton, *Tome 1, op. cit.*, p. 19.

7. Miatto et al., *op. cit.*

8. Jusqu'à 1 Mt/an pour les routes.

9. La consommation nationale de bitume varie entre 2 et 3,5 Mt/an depuis le milieu des années 1960.

10. Les valeurs de Miatto ne peuvent être transposées pour les autoroutes – qui sont construites majoritairement en béton de ciment aux États-Unis. Le total est de toute façon négligeable par rapport aux granulats : Miatto et al., *op. cit.*, p. 172.

Annexe D

Déchets

Du fait de l'absence de statistiques officielles, il n'existe aucune étude complète sur les flux de déchets de la France métropolitaine depuis 1945 – ce flux est absent de notre précédente étude du métabolisme du capitalisme français sur le temps long¹. Nous avons collecté les statistiques de sources très diverses. Comme elles n'apparaissent qu'avec la création du problème, elles sont inexistantes pour les déchets de démolition avant les années 1980, et fin des années 1990 pour les sédiments. Il est très probable qu'une part très importante des déchets des routes était réutilisée sur les chantiers.

D.1 La fin du Fordisme comme âge d'or

Si l'on examine les valorisations depuis 1945, les sommets (des taux comme des quantités absolues) sont souvent atteints entre 1972 et 1982 – sauf pour les déchets de démolition :

- 8,3 Mt de laitier granulé en 1974, 7 Mt de laitier concassé en 1967 et 6,5 Mt en 1974² (figure D.4 et figure D.5) ;
- cendres volantes en 1970 (figure D.7 et figure D.8) ;
- 8,3 Mt de schistes en 1972 et 9,3 Mt en 1982 (figure D.9) ;
- environ 1 Mt de phosphogypse à la fin des années 1970³.

Ce n'est qu'au début des années 2000 que la valorisation des déchets issus des espaces produits devient plus importante que celle des déchets industriels. En 1998, le total des déchets d'origine industrielle utilisé en construction routière est égal à la somme des MIOM et des déchets de démolition⁴.

D.2 Nombre d'arnaque

Au moment de la rédaction de ce chapitre est apparue une nouvelle brochure de l'UNPG⁵ fournissant les derniers chiffres de la production et consommation de granulats pour l'année 2018. Surprise ! les “granulats de recyclage” (sic) atteignent 121,5 Mt, ou 27 % des besoins,

1. Magalhães et al., *op. cit.*

2. *Revue de Métallurgie* (mai 1978, p. 271-272) ; *L'Équipement Mécanique* (déc. 1978).

3. OFRIR, *Phosphogypses, titanogypses et apparentés*, *op. cit.*, p. 4.

4. *RGRA* (fév. 2000, p. 39).

5. UNPG, *L'industrie française des granulats. Données 2018*, *op. cit.*

soit six fois plus que l'année précédente ! Déjà les chiffres 2016 présentaient un camembert indiquant 23,1 % de "granulats issus du recyclage". De l'aveu même de la profession, le pourcentage de "granulat recyclé" dans la production totale varie de 2 à 8 % entre 1994 et 2014⁶. Le syndicat patronal a tout simplement changé le calcul du pourcentage (qui est un rapport entre deux nombres) : jusqu'en 2008, le taux de recyclage (5 %) est calculé avec au numérateur le total de la production de granulat recyclé (23 Mt), et au dénominateur le total de la production de granulat, y compris les granulats recyclés, soit 431 Mt. En 2018, on trouve au numérateur le total des granulats recyclés (laitiers, démolition, etc.) auquel s'ajoutent deux termes : le total de la valorisation de déchets de déchets du BTP et la matière réutilisée sur place par les chantiers (qui est très importante). Cette astuce comptable ne doit pas faire oublier la médiocre valorisation des granulats "artificiels" (section 5.3.3).

D.3 Laitiers

Comme le laitier de haut-fourneau est une matière à (potentielle) haute valeur ajoutée, qui plus est associée à des secteurs importants économiquement, les statistiques sur sa production et son utilisation, sont anciennes et de bonne qualité (figure D.1). Des témoignages montrent que les différents laitiers (tant granulé⁷ que cristallisé⁸) sont valorisés au XIXe. Jusqu'aux années 1950, nous ne disposons que des chiffres du laitier granulé utilisé en cimenterie. Nous pouvons fournir un ordre de grandeur : le total augmente de 200 à 300 kt de laitier granulé utilisé pour la fabrication des ciments au tournant des années 1930 à 500 kt en 1939, et 3,8 Mt au milieu des années 1970⁹.

6. UNPG, *Carrières et Granulats à l'horizon 2030*, Livre blanc, 2016, p. 17.

7. Leduc, *op. cit.*

8. Comme substitut aux graviers pour le ballast : Evrard, *op. cit.*, p. 72.

9. *RGRA* (mai 1976, p. 121).

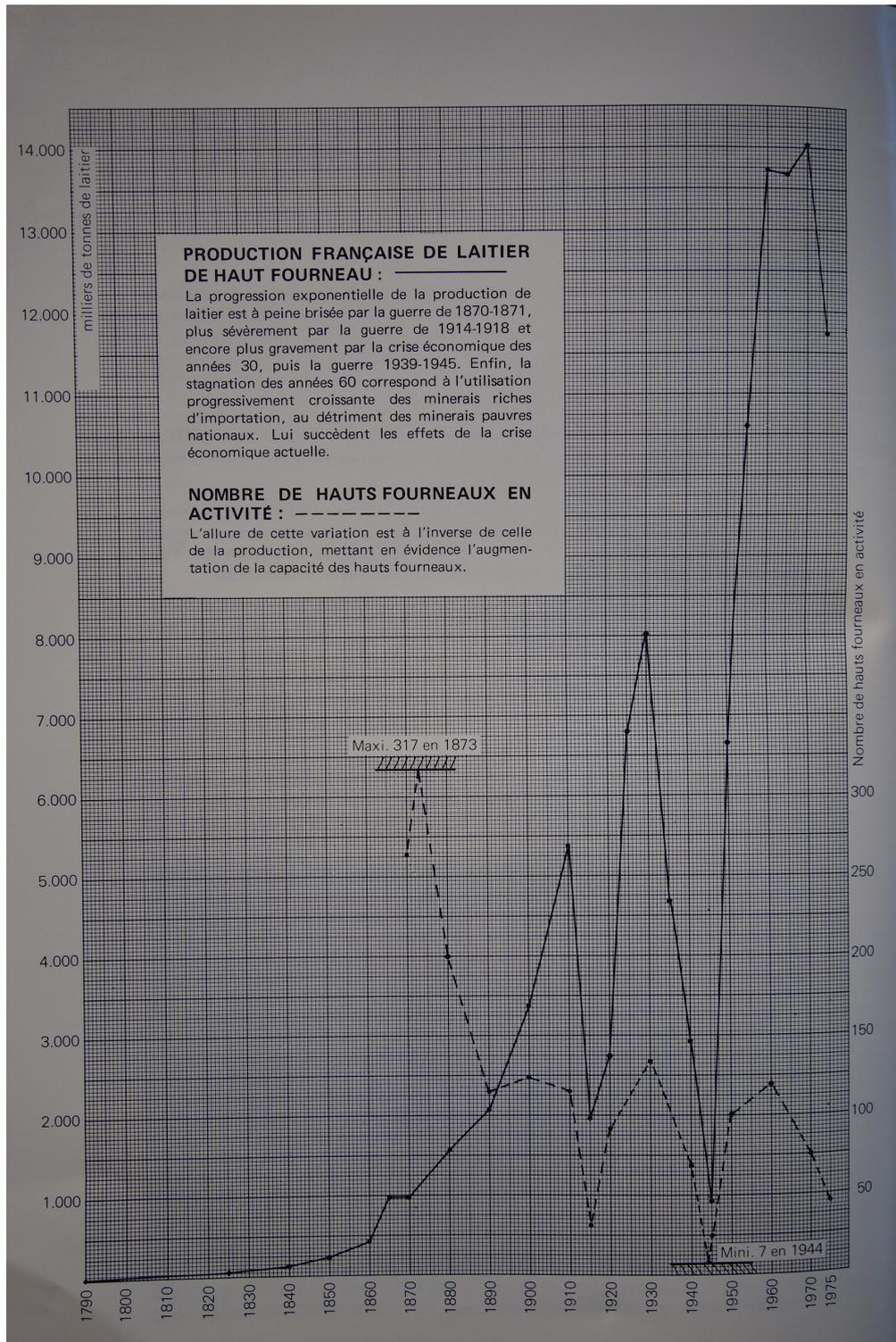


FIGURE D.1 – Production de LHF depuis 1790. Elle dépasse le million de tonnes dès 1870¹⁰.

10. *LS* (2ème trim. 1977, p. 62).

TABLEAU I : Production des cimenteries françaises de 1948 à 1959 (tonnage en milliers de tonnes).

Années	Clinker de Portland	Laitier utilisé en cimenterie	Clinker + Laitier
1948	4 033	1 400	5 433
1949	5 055	1 673	6 723
1950	5 743	1 753	7 496
1951	6 507	1 933	8 440
1952	7 099	2 004	9 103
1953	7 454	2 013	9 467
1954	7 913	1 810	9 723
1955	8 992	1 903	10 895
1956	9 400	1 800	11 200
1957	10 310	2 155	12 475
1958	10 675	2 619	13 294
1959	11 052	2 625	13 677

FIGURE D.2 – L'utilisation de laitier dans la production de ciment¹¹.

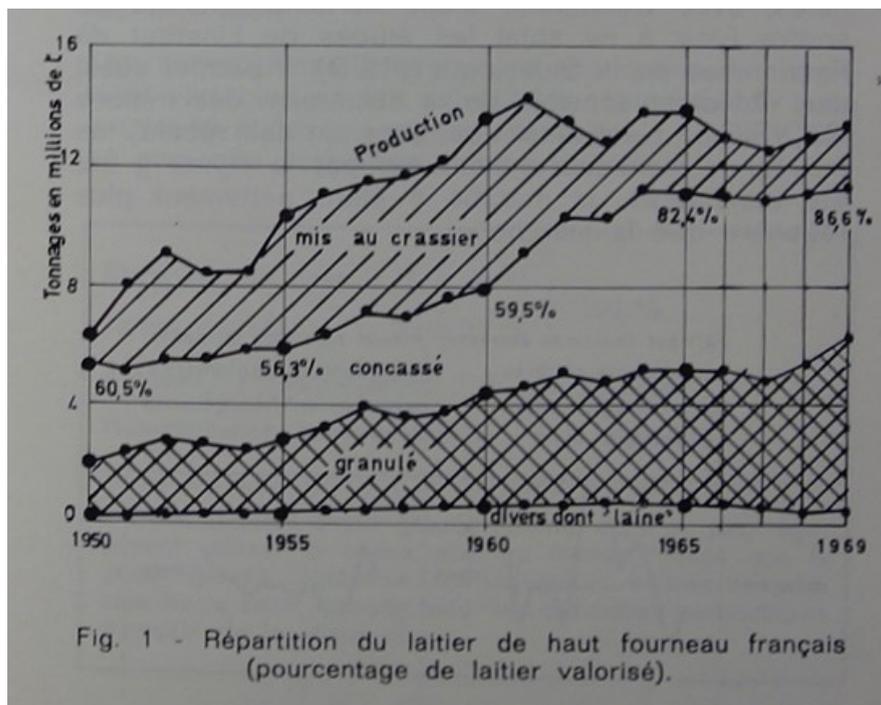


FIGURE D.3 – Pourcentage et répartition de valorisation des laitiers¹².

11. *Revue de Métallurgie* (sept. 1961, p. 736).

12. *Bull. liaison* (spécial Q, déc. 1970, p. 55).

ANNÉES	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
ROUTE	2.319	2.833	2.781	3.200	3.323	3.167	3.778	4.204	3.480	3.655	4.997	3.310	3.898	4.502	5.077	4.760
BÉTON	—	—	—	—	118	139	99	100	95	91	44	40	67	180	348	360
DIVERS	2.508	2.709	2.978	2.884	2.531	2.650	2.767	2.743	2.356	2.313	2.442	2.616	1.380	1.169	1.137	1.209
TOTAL	4.827	5.542	5.759	6.084	5.972	5.956	6.644	7.047	5.931	6.059	7.483	5.966	5.345	5.851	6.562	6.335

Remarque : Les emplois « Divers » comportent :
 Ballast de Chemin de Fer, Briques, Blocs et Produits spéciaux
 Consommation propre des usines, Exportations
 et, avant 1974, certaines utilisations de granulats pour béton.

FIGURE D.4 – Valorisation de laitier concassé en milliers de tonnes¹³.

ANNÉES	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975
Cimenteries françaises	2.284	2.582	2.767	2.801	3.180	3.076	2.970	2.911	2.895	2.777	2.850	2.972	2.789	3.123	3.722	3.077
Cimenteries étrangères	212	255	293	278	474	578	604	606	806	771	923	967	1.153	924	714	647
Routes et Remblais	116	220	753	1.246	1.006	1.097	1.162	1.173	1.544	1.664	1.885	1.835	2.089	2.239	2.881	3.058
Sables et divers	587	803	1.147	766	636	529	585	673	666	1.367	1.380	1.368	961	1.105	937	567
TOTAL	3.199	3.860	4.960	5.091	5.296	5.280	5.321	5.363	5.911	6.579	7.038	7.142	6.992	7.391	8.294	7.349

Remarques :
 – Les chiffres ci-dessus comprennent 10 à 15 % d'eau conservée après granulation
 – Les emplois « Divers » comprennent les fabrications de briques, de blocs et produits spéciaux ainsi que la consommation propre des usines.
 – L'augmentation de la consommation à usages routiers depuis 1962 s'explique par le développement de la technique des graves-laitier.

FIGURE D.5 – Valorisation de laitier granulé en milliers de tonnes¹⁴.

Au début des années 2000, l'utilisation de l'ensemble des laitiers sidérurgiques est de l'ordre de 4 à 6 Mt/an de laitiers de fraîche production, et supérieure à 2 Mt/an de laitiers issus des anciens crassiers¹⁵. La production de LHF avoisine les 3 Mt en 2017 (sur les trois derniers sites de Fos, Dunkerque et Pont-à-Mousson). Les dernières estimations des stocks recensent, en 2020, 30 Mt dont 15 Mt pour les laitiers de haut-fourneau cristallisés issus du passé (XIXe et XXe siècles) et 15 Mt pour les laitiers de convertisseur issus de la filière fonte. En 2020, près de 310 Mt de LHF sont produits dans le monde¹⁶.

13. *LS* (3ème et 4ème trim. 1977, p. XXVIII).

14. *LS* (3ème et 4ème trim. 1977, p. XXXII).

15. Rossi, Gavois et Raoul, *Laitiers de haut-fourneau - Origine, production et caractéristiques*, op. cit.

16. *LS* (déc. 2021, p. 38).

TYPE DE LAITIERS		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
LHF	LHF totaux	2 847	2 866	3 081	3 407	2 983	3 003	3 034	2 990	3 002	2 342
	LHF granulés	2 323	1 902	2 127	2 475	2 185	2 310	2 572	2 479	2 531	2 009
	LHF cristallisés	524	964	954	932	798	693	462	511	470	332
Laitiers d'aciérie de conversion		1 136	1 135	1 258	1 187	1 265	1 072	955	1 136	1 153	927
Laitiers d'aciérie électrique (aciers carbone)		732	734	607	503	442	420	423	461	396	272
Laitiers d'aciérie électrique (aciers Inox et alliés spéciaux)		116	120	115	211	185	173	172	170	148	124
Total		4 831	4 855	5 061	5 308	4 875	4 668	4 623	4 757	4 699	3 665

FIGURE D.6 – Synthèse de la production de laitiers depuis 2011¹⁷.

D.4 Cendres volantes

Environ 50 Mt de cendres auraient été valorisés entre 1955 et 1980¹⁸.

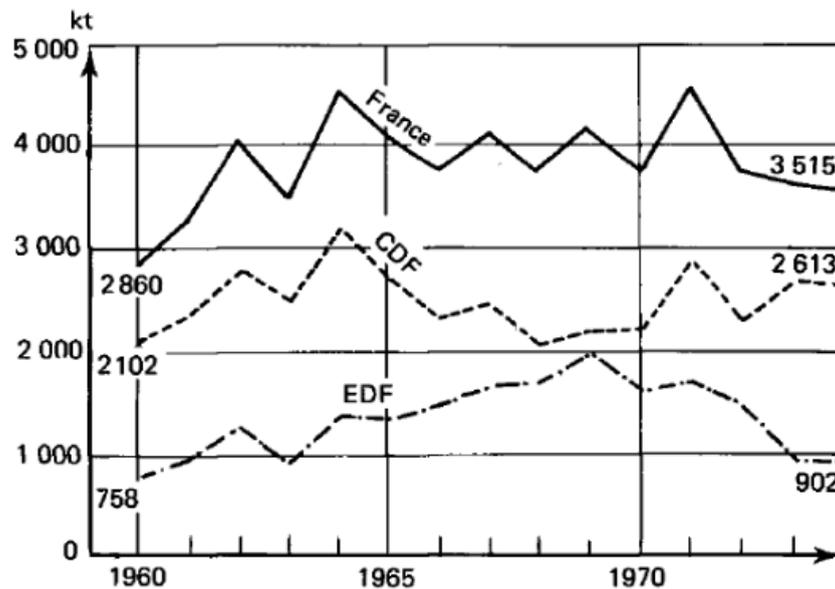


Fig. 2 - Production de cendres.

FIGURE D.7 – Production de cendres volantes¹⁹.

17. *LS* (déc. 2021, tableau 1, p. 35).

18. *Carly, op. cit.*, p. 11.

19. *Bull. liaison* (mai-juin 1976, p. 74).



FIGURE D.8 – Pourcentage d'utilisation des cendres volantes de 1958 à 1970. Outre la forte hausse du taux de valorisation, on constate que le déstockage commence en 1970²¹.

D.5 Schistes

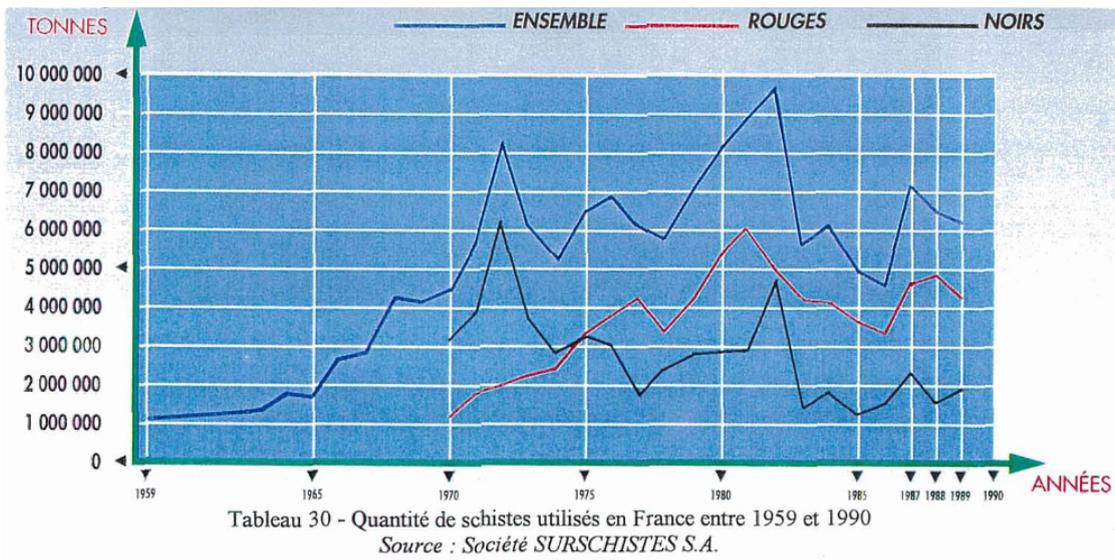
La valorisation totale dépasse les 8 Mt/an en 1972²². Les ventes à l'extérieur des HBNPC dépasse les 4 Mt entre 1968 et 1970. En 1984, un article estime à 75 Mt le total valorisé depuis vingt ans et à 1 Gt les réserves encore disponibles²³. La valorisation est aujourd'hui de l'ordre de 1 Mt/an. Au total, plus de 300 Mt auraient été valorisés depuis le début des années 1960²⁴.

21. *Annales des Mines* (mars 1971, p. 7).

22. OCDE, *Utilisation des déchets et sous-produits en technique routière*, *op. cit.*, p. 32; BRGM, *Granulats*, *op. cit.*, p. 99.

23. Voir : *Annales des Mines* (mars 1971, p. 11); *Bull. AIGI* (1984, p. 317).

24. OFRIR, *Schistes houillers*, *op. cit.*

FIGURE D.9 – Quantité de schistes réutilisés de 1959 à 1990²⁵.

D.6 Sédiments

Les sédiments sont des sous-produits de l'activité de dragage. Comme celle-ci ne vise pas à exploiter ce matériau en vue de son utilisation (ils sont très majoritairement rejetés), ce sont des déchets. Les chiffres des déblais de dragage portuaire sont connus depuis que des législations les encadrent au début des années 2000²⁶. Le total varie de 19 à 45 Mt de matériaux (matière sèche) par an (figure B.2), dont 30 % de sable²⁷. Ces variations s'expliquent en partie par le dragage nécessaire aux extensions des ports, une activité ponctuelle mais importante en volume et en masse. L'enquête dragage²⁸ estime un volume de 49 Mm³ de sédiments marins dragués (33,2 Mt de matières sèches) en 2009 en France (DOM compris).

Si le "gisement" est potentiellement très important, 90 à 95 % des matériaux de dragage sont immergés, les zones d'immersion étant réglementées et soumises à arrêté préfectoral. Le reste des matériaux (jusqu'à 7 Mm³/an), est orienté vers des filières de gestion à terre où selon leurs caractéristiques ils pourront être traités, stockés ou "valorisés" (rechargement de plage²⁹). Environ 10 % des sédiments fluviaux sont valorisés dans les travaux publics (très majoritairement en remblais). Des stratégies de valorisation bien plus ambitieuses du point de vue quantitatif sont envisagées par quelques institutions. Sur les 7 Mm³ de sédiments dragués pour l'entretien et les prochains travaux d'agrandissement, le port de Rouen entend valoriser 3,5 Mm³ dans le BTP et pour la création de zones humides dans les anciennes ballastières – le reste sera clappé en mer³⁰.

25. BRGM, *Granulats*, *op. cit.*, p. 99.

26. RECORD, *Impacts écologiques de sédiments pollués*, *op. cit.*

27. Le Guern et al., *op. cit.*, p. 21 ; Foucher, *op. cit.* ; CETMEF, *Enquête "Dragage 2006"*, Analyse des données, 2008.

28. CETMEF, *Enquête "Dragage 2010"*, Analyse des données, 2013.

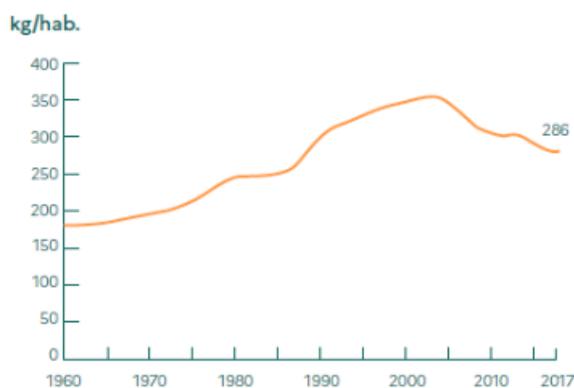
29. Environ 150 kt par an : GEODE et MTES, *op. cit.*, p. 7.

30. Bataillard, Chevrier et Hoang, *op. cit.*, p. 45.

D.7 Mâchefers d'incinération

Selon Eurostat ³¹, le taux de mise en décharge des déchets ménagers en France en 2017 est d'environ 22 % (sur 34 Mt de déchets ménagers produites, un peu plus de 7 Mt sont enfouis). Depuis vingt ans, le total de mâchefers valorisé varie entre 2 et 3 Mt/an. En 2018, on recense 126 installations de traitement thermique de déchets non dangereux en France, qui traitent 14,5 Mt de déchets par an et produisent 3 Mt de mâchefers (soit 20 à 25 % du tonnage des déchets en entrée) : 84 % sont valorisés comme "granulat" en technique routière (les 16 % restant étant dirigés en installation de stockage).

Figure 9. Évolution de la quantité d'ordures ménagères par habitant entre 1960 et 2017



Sources : ADEME – Enquête ITOM en 1974 puis enquêtes Collectes depuis 2005, données lissées

FIGURE D.10 – Production d'ordures ménagères depuis 1960 : la source du flux ne tarit pas ³².

D.8 Routes

Le total de déchets et sous-produits valorisé dans les routes avoisine les 70 Mt/an, alors que les déchets totaux (y compris terres, cailloux, mélanges bitumineux) engendrés par les routes serait proche des 300 Mt/an ³³. Cette section s'intéresse aux seuls déchets des couches de roulement. Malgré l'engouement apparent des années 1980 ³⁴, divers témoignages suggèrent que les techniques de recyclage des enrobés, y compris le retraitement, restent peu utilisées, pour partie du fait de la chute du prix du bitume, entre 1985 et 1993 ³⁵. Ce n'est qu'à partir des années 2000 que les proportions vont réellement augmenter.

Avant de donner les statistiques ³⁶, rappelons que la production d'enrobés bitumineux varie entre 35 et 46 Mt depuis 2004. Quatre indicateurs sont intéressants : le total de déchets

31. Cette section s'inspire de : INEC, *op. cit.*

32. ADEME, *Déchets chiffres-clés. Édition 2020, op. cit.*, p. 26.

33. IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement, op. cit.*

34. Voir : *Bull. liaison* (jan.-fév. 1980) ; SETRA et LCPC, *Le recyclage en centrale des enrobés bitumineux*, Note technique provisoire, décembre 1982.

35. *Bull. liaison* (nov.-déc. 1992, mai-juin 1993) ; RGRA (nov. 1993, mai 1995, p. 24).

36. Elles proviennent de : RGRA (fév. 2000, p. 25-26) ; USIRF, *Enquête déchets d'enrobés produits par les chantiers et les centrales. Chiffres 2003*, Union des Syndicats de l'Industrie Routière Française, 2004 ;

d'enrobés produits en masse absolue ; le taux de ces déchets valorisés ; le taux de recyclage (la part de ces déchets qui est recyclé) ; le taux moyen de réintroduction dans les enrobés (le rapport entre le total des agrégats recyclés sur le total de la production d'enrobés).

- Le total des déchets d'enrobés (croûtes, fraisages et rebuts de fabrication) augmente : de 5,1 Mt en 1997 et 6,5 Mt en 2003. Le patronat indique depuis 2012 le “tonnage des matériaux recyclés” (définis comme “fraisâts, croûtes et bétons concassés pour réutilisation ultérieure”) qui est de 12 à 17 Mt depuis 2012.
- Le taux de valorisation, donc le rapport entre les déchets réutilisés et le total précédent, augmente fortement : de 49 % en 1997 à 80 % en 2003 (la mise en décharge est divisée par 9 par rapport à 1997) et quasiment 100 % aujourd'hui. Ceci signifie que les mises en décharge ont pratiquement disparu.
- Le taux de recyclage d'agrégats d'enrobés augmente, c'est à dire qu'au sein des valorisations, la solution recyclage est de plus en plus importante : de 4 % en 1997, à 12,7 % en 2003, 40 % en 2010 et 65 % en 2013. Une convention d'engagement volontaire de l'industrie routière, engagée après le Grenelle de l'Environnement, avait fixé un taux de 60 % pour l'année 2012. Admettant sans doute la supercherie, et désignant une nouvelle cible, le patronat abandonne ce taux dans son rapport annuel – pour privilégier le taux de réintroduction.

Année	Production d'enrobés à chaud (t)	Matériaux récupérés (t)	Agrégats recyclés (t)	Agrégats/fraisats récupérés (%)	Taux moyen/formulations (%)
2007	42 300 000	7 135 000	1 714 000	24.0	4.1
2008	41 800 000	7 050 000	2 110 000	29.9	5.1
2009	40 100 000	7 070 000	2 326 000	33.0	5.8
2010	38 800 000	7 080 000	2 825 000	40.0	7.3
2011	39 200 000	7 000 000	3 214 000	45.4	9.2
2012	35 300 000	6 500 000	4 022 000	61.9	11.9
2013	35 400 000	6 900 000	4 500 000	65,0	12,7

FIGURE D.11 – Données pour les enrobés bitumineux 2007-2013 (USIRF, 2015).

Il faut ici souligner la différence entre le taux de valorisation des déchets (à la sortie du stock), et la part de matière recyclée dans le flux qui rentre dans le stock³⁷ (figure D.11). Le premier concerne le pourcentage de fraisâts réutilisés dans la production d'enrobés neufs (en 2013, 4,55 Mt des 6,9 Mt de fraisâts). Le reste des agrégats / fraisâts d'enrobés, environ

IFEN, *Les impacts du réseau routier sur l'environnement*, *op. cit.*; USIRF, *Bilan environnemental 2012, 2013*; Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*

37. Ce point a déjà été mis en évidence par Grosse dans sa critique de l'économie circulaire : outre que le problème premier des déchets est la croissance du stock, une politique ambitieuse doit exiger que le taux de matière recyclée dans le flux input soit le plus élevé possible : Grosse, *op. cit.*

2 à 3 Mt les dernières années, est réutilisé autrement que dans des enrobés neufs (seule la partie granulat du matériau a été valorisée³⁸). Le second, taux de réintroduction des agrégats d'enrobés dans les enrobés bitumineux était de 18 % en 2018 contre 4 % en 2007³⁹. L'utilisation d'AE est généralement limitée à des pourcentages ne dépassant pas 25-30 % (recyclage à faible et moyen taux), en raison de limitations techniques et pratiques des usines de production. En 2018, une majorité des 600 centrales (les 4/5 sont fixes, 1/5 mobile) est équipée de dispositifs de recyclage, et environ 7,8 Mt d'enrobés (parmi les 15 Mt de matériaux valorisés) ont été réutilisés dans les enrobés neufs. Le retraitement en place reste moins important que le recyclage en centrale mais connaît une croissance plus forte : il a doublé entre 2012 et 2015, en volume comme en surface.

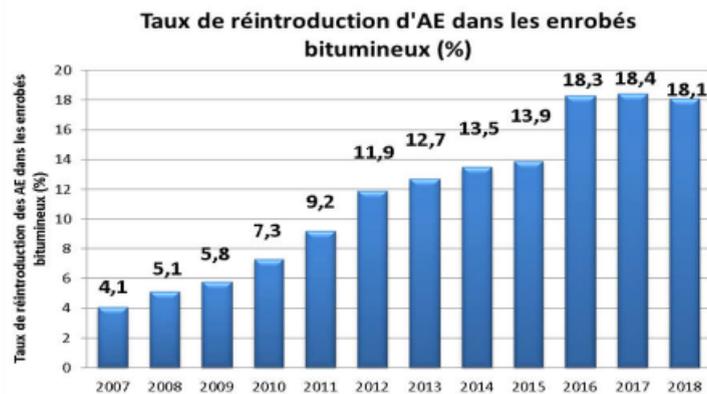


FIGURE D.12 – Évolution du taux de réintroduction dans les enrobés bitumineux depuis 2007⁴¹.

D.9 Démolition

L'élaboration industrielle des granulats recyclés commence au tout début des années 1980. En 1985, 5 centrales accueillent 600 kt mais un chiffre de 1,5 à 4 Mt/an semble fiable pour les déchets de démolition en IDF. A partir de 1985, l'activité s'est développée à raison de 3 à 5 nouvelles installations créées par an. En 1991, le bilan était de vingt sociétés de recyclage en IDF, avec un tonnage qui a plus que doublé en 5 ans. Néanmoins, pour des raisons essentiellement économiques, la filière française de granulat récupère alors seulement 15 % des gravats de démolition, ce qui représente 1 % de l'approvisionnement des producteurs⁴². Début des années 1990, le secteur de la démolition produit 20 à 25 Mt de gravats et environ 3 Mt de granulat issu de béton de démolition par an⁴³. En 1994, la totalité du gisement de

38. Notons, enfin, que comme pour la fabrication de granulat, la fabrication des différents produits routiers génère quelques rebuts (2 % de la production) qui sont dans la majorité des cas valorisés : dans les centrales d'enrobage ; dans les carrières (stériles, terres de scalpage) pour réaliser des merlons protecteurs pendant l'exploitation et sont ensuite utilisés pour le réaménagement en fin d'exploitation.

39. Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*, p. 7.

41. Tableau tiré de : Routes de France, *Bilan environnemental 2018*, *op. cit.*, p. 7.

42. Labouze, *op. cit.*, p. 82.

43. Sur la période 1994-2008, les estimations viennent de l'ADEME, la FFB, l'IFEN et le Syndicat National des Entreprises de Démolition. Voir : *Annales des Mines* (fév. 1993) ; BRGM, *Granulats*, *op. cit.* ; RECORD,

déchets de construction, rénovation et démolition de bâtiments représente 24 Mt de déchets. La répartition était la suivante : 2,3 Mt de déchets de construction (9,7 %) ; 11,4 Mt de déchets de réhabilitation (47,6 %) ; 10,2 Mt de déchets de démolition (42,7 %). En 1999, la totalité de la production de déchets du bâtiment a été estimée à 31 Mt. Sur ce total, la démolition aurait représenté 17,3 Mt (ou 56 %). Selon les estimations pour 2004, le bâtiment aurait généré 47,9 Mt de déchets (deux fois plus qu'en 1994), dont 65 % ont été attribués à la démolition, soient 31,2 Mt (et 28,2 % pour la réhabilitation). En 2000, il a été fabriqué près de 3 Mt de granulats recyclés en IDF à partir de 29 installations réparties sur l'ensemble de la région⁴⁴. Sur les 25 Mt de béton concassé, trié et traité, 7 Mt sont réemployées comme granulats nobles et 13 Mt sont réutilisés sous forme de remblais pour la construction des routes⁴⁵. Si c'est aujourd'hui le granulat le plus recyclé, dont le total est passé de 12 à 19 Mt entre 2005 et 2014, rappelons que la consommation de granulat varie depuis 40 ans entre 350 et 450 Mt (chap. 1). En 1996, les granulats de démolition recyclés représentent 1,6 % du total des granulats consommés en France⁴⁶, taux qui reste sous les 7 % aujourd'hui⁴⁷. Ce niveau modeste rappelle les limites de la métaphore de la ville comme carrière⁴⁸.

Les déchets du bâtiment en IDF atteignent des niveaux très élevés depuis une trentaine d'années. Or leur transport soulève des questions souvent négligées dans les rapports. Le Projet PREDEC a fait une simulation pour l'IDF : 977 installations identifiées pour un total de 26,6 Mt ; 12 % des tonnages de marchandises transportés par la route en IDF sont des déchets du BTP⁴⁹. Sur une année, pour la Grande Couronne, ils estiment à près de 5 000 trajets allers-retours de camions par jour. Pour les chantiers urbains, les déblais doivent sortir de la sphère de la production et parcourir des distances plus grandes : celui du site de Tolbiac de la BNF⁵⁰ représente une sortie de camion toutes les deux minutes pendant 8 mois. En une année, 24 745 000 km ont été parcourus pour le transport par la route de ces déchets sur Paris et sa Petite Couronne, soit 95 000 km chaque jour. Environ 33 500 000 km sont parcourus sur une année de référence pour le transport des déchets du BTP sur l'ensemble du territoire. Ces dizaines de milliers de trajets doivent d'abord rappeler que la production de granulat recyclé est une solution qui n'est pas si verte (par exemple en termes d'émissions de CO₂). Ce trafic provoque un vieillissement accéléré des couches de roulement, donc de nouveaux déchets du BTP.

Déchets de démolition et de déconstruction : gisements, caractérisations, filières de traitement et valorisation, n°09-0139/1A, juin 2011.

44. DRE-IDF, *Valorisation des excédents de déblais de travaux publics*, *op. cit.*, p. 9.

45. Agostini, *op. cit.*

46. Piantone, Blanc et Bodéan, *op. cit.*, p. 67.

47. ADEME et Bio by Deloitte, *op. cit.*, p. 65.

48. Ghyoot et al., *op. cit.*, p. 91-95.

49. PREDEC, *op. cit.*, p. 99-100.

50. <http://passerelles.bnf.fr/albums/fmitterrand/index.htm>

Matières à produire l'espace

Résumé. Cette thèse s'intéresse à l'accumulation de stocks de matières, appréhendée comme une production d'espace, en France depuis 1945. Ce processus est étudié au travers d'une histoire environnementale des grandes infrastructures. En examinant leur métabolisme, et en multipliant les points de vue (depuis les sols, les laboratoires, les chantiers ou les carrières), nous montrons que la production d'espace est synonyme de Capitalocène, d'extractivisme, de désencastrement, d'industrialisation, et de valorisation de déchets. Au-delà de nouvelles constructions, elle est une opération de stabilisation, d'entretien, de maintenance et d'extension d'espaces produits. Les chapitres mettent en évidence l'attention permanente et les importants investissements (tant monétaires que techniques, idéologiques, cognitifs et logistiques) nécessaires pour surmonter les multiples crises et contestations que cette production engendre. Aussi, elle requiert des reliefs bien particuliers, une stabilité des sols et fondations, un travail idéologique de naturalisation du bâti, une prise en charge et une planification croissante (économique et territoriale) des carrières et des espace-déchets. Nous introduisons le concept de pratique spatiale d'un régime d'accumulation pour rendre intelligible ces dynamiques historiques pour le Fordisme et le Néolibéralisme.

Mots-clés : Histoire Environnementale ; Théorie de la Régulation ; Écologie Sociale ; infrastructures ; production d'espace ; dépendance au sentier ; seconde infrastructure ; extractivisme ; terrassements ; instabilité ; déchets.

Matters Concerning the Production of Space

Abstract. This thesis focuses on the accumulation of material stocks, perceived as a production of space, in France since 1945. This process is studied through an environmental history of large-scale infrastructures. By examining their metabolism (in particular their material flows), and by multiplying the points of view (from soils, laboratories, worksites or quarries), we show that it is synonymous with Capitalocene, extractivism, disembedding, industrialization and waste recovery. The production of space is as much about stabilisation, maintenance, upkeep and extension of existing stocks as of new constructions. The chapters highlight the permanent attention and the important investments (monetary, technical, ideological, cognitive and logistical) necessary to overcome the multiple crises and tensions that this production generates. It demands indeed very particular landforms, the stability of soils and basements, an ideological work of naturalization of the built environment, a growing management and (economic and spatial) planning of extractive and waste spaces. We introduce the concept of spatial practice of an accumulation regime to make these historical dynamics intelligible for Fordism and Neoliberalism.

Keywords: Environmental History; *Régulation* Theory; Social Ecology; infrastructures; production of space; path dependency; second infrastructure; extractivism; earthworks; instability; waste.