



HAL
open science

Vers une gestion renouvelée du littoral nord-ouest européen : des ingénieurs néerlandais, anglais et français de plus en plus "verts" ?

Servane Gueben-Veniere

► To cite this version:

Servane Gueben-Veniere. Vers une gestion renouvelée du littoral nord-ouest européen : des ingénieurs néerlandais, anglais et français de plus en plus "verts" ?. Géographie. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I, 2014. Français. NNT : 2014PA010619 . tel-02158094v1

HAL Id: tel-02158094

<https://theses.hal.science/tel-02158094v1>

Submitted on 17 Jun 2019 (v1), last revised 18 Jun 2019 (v2)

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.



**Vers une gestion renouvelée du littoral nord-ouest européen :
des ingénieurs néerlandais, anglais et français
de plus en plus « verts » ?**



Thèse pour l'obtention du Doctorat de Géographie
soutenue publiquement le 9 juillet 2014 à l'Université Paris 1
par Servane GUEBEN-VENIERE

Sous la direction de Lydie GOELDNER-GIANELLA

Membres du jury :

Philippe DEBOUDT, Professeur des Universités, Université Lille 1 (rapporteur)
Lydie GOELDNER-GIANELLA, Professeure des Universités, Université Paris 1 (directrice)
Luc HAMM, Ingénieur-HDR, Directeur Technique, ARTELIA Eau & Environnement (examinateur)
Catherine MEUR-FEREC, Professeure des Universités, Université de Bretagne Occidentale (rapporteur)
Alain MIOSSEC, Professeur émérite, Université de Nantes (examinateur)
Pierre PECH, Professeur des Universités, Université Paris 1 (examinateur)

*À la mémoire de mon père
qui est parti très tôt et qui me manque*

*À la mémoire de mon grand-père
qui, par son expérience professionnelle au sein de l'Europe,
a enrichi ce travail de la vision d'une autre génération*

*À la mémoire de ma grand-mère
qui est née et a grandi sur les rives de l'Escaut*

À la vie de Gaëtan et Émilien, deux bébés du printemps 2014

Ce travail représente pour moi un parcours riche d'enseignements et de rencontres. La première de ces rencontres, il y a un peu plus de dix ans lors d'un stage de Licence à Sables-d'Or-les-Pins, est celle de Lydie Goeldner-Gianella, envers qui je suis très reconnaissante et que je tiens à remercier chaleureusement. Merci Lydie, pour vos constants encouragements, votre exigence toujours accompagnée de conseils et d'idées, votre enthousiasme si réjouissant, votre patience et la grande disponibilité avec laquelle vous m'avez dirigée. Nos échanges m'ont toujours été riches et j'en sortais chaque fois plus confiante. Ce savant mélange a aussi été pour moi un modèle d'enseignement, que je me suis efforcée d'appliquer en donnant moi-même des cours aux étudiants. Enfin, je vous remercie également pour votre soutien et votre écoute dans les moments personnels plus difficiles. Tout cet ensemble constitue, pour moi, une très belle rencontre.

Je remercie en second lieu les membres du jury qui ont accepté de lire et examiner ce travail. Merci en particulier au Professeur Alain Miossec, d'avoir accepté de me rencontrer dès le début de la thèse pour échanger sur ce sujet qui lui était cher. Un grand merci à Luc Hamm qui m'a aussi grandement éclairée sur le monde des ingénieurs et confié avec passion sa vision de la gestion du littoral et son cheminement de pensée. Merci également au Professeur Pierre Pech, dont les cours, tout au long de mon cursus, m'ont passionnée. Je profite également de l'occasion qui m'est donnée pour remercier le Professeur Fernand Verger qui m'a très gentiment reçue pour discuter du sujet.

Un grand merci bien sûr à tous ces acteurs du littoral nord-ouest européen et aux responsables des formations d'ingénieurs, qui m'ont volontiers ouvert la porte de leur bureau, de leur maison, de leur bateau, parfois pendant plusieurs heures et à plusieurs reprises, malgré des emplois du temps chargés. Une pensée particulière pour Yvo Provoost, le *dijkgraaf* moderne des digues zélandaises, Bert ven der Valk qui n'a pas hésité à se transformer en guide des dunes hollandaises une journée entière, Gerda Lenselink qui, après un long entretien et un excellent dîner, m'a emmenée admirer un coucher de soleil sur le ZuiderZee. Merci aussi à Mark Dixon pour son enthousiasme et pour m'avoir fait découvrir les fruits de mer de Mersey Island ! Et bien sûr un grand merci à Henk Saeijs qui m'a décrit l'expérience de toute une carrière, avec une passion intacte et une envie insatiable de toujours voir plus loin.

Pour rencontrer toutes ces personnes, le soutien financier du laboratoire Prodig, qui a toujours répondu favorablement aux financements ponctuels demandés, a beaucoup compté. Ce laboratoire de recherche a été pour moi un lieu majeur, de travail et d'échanges, tout au long de la thèse. J'y ai, entre autres, bénéficié des conseils avisés et du professionnalisme de Geneviève Decroix pour la réalisation des cartes et qui, jusqu'à la fin s'est toujours montrée disponible et bienveillante. Merci également à Jean-François Cuenot pour son aide dans la compilation des cartes mentales et sa constante bonne humeur, à Thierry Husberg pour son assistance en informatique ! Et puis il y a la salle des doctorants, salle des départs sur le terrain, des arrivées, des transits... Un véritable bout du monde, tantôt africain, tantôt asiatique, tantôt sud-américain, bref, un mini hub version quartier latin au sein duquel j'ai rencontré Delphine, que je remercie chaleureusement pour son soutien continu et ses nombreuses attentions, Jean-François Valette, qui a aussi été un collègue formidable, Mathilde et Kaduna, Cécile, Foussata, Romain, Anaïs, Julie, Marie, Armelle, Étienne, Dan, Hui, Issa, Annaïg, Emmanuel C. et Emmanuel V.... Merci aussi à Patrick et Michel pour leur accueil !

J'ai également bénéficié, pour partir en Angleterre, d'un soutien financier de l'Association Française des Femmes Diplômées des Universités que je remercie ici.

Une expérience de consultante au sein de Artélia Eau et Environnement, pour un projet initié par le Conservatoire du littoral a également contribué au financement de la thèse. Je profite de ces quelques lignes pour remercier Lucie Thiébot et Sébastien Ledoux qui m'ont fait confiance et m'ont guidée dans cette première expérience.

La recherche de financement mène aussi parfois à des situations insolites. Oui, on peut être doctorante, cuisinière et serveuse ! Merci à Cathy de m'avoir confié sa « Petite maison au fond de la cour », à Saint-Paul. Je m'y suis sentie « comme à la maison »...

Enfin, je dois mon envie d'avoir finalement prolongé mes études par une thèse aux enseignants-chercheurs de Paris 1 qui ont enrichi mon parcours d'étudiante comme de jeune enseignante. Je pense en particulier à Martine Tabeaud et Laurent Simon qui ont rendu ce Master 2 si vivant, à Antonine Ribardièrre et Paul Durand qui m'ont beaucoup aidée pour les premiers cours à donner, à Franck Lavigne, Nathalie Vanara et aux autres collègues.

Et puis il y a ceux qui ont toujours été là. Un grand merci à vous tous, grâce à qui je me suis toujours sentie entourée, même complètement perdue, perchée en haut d'une digue, sans plus savoir si l'eau venait du ciel, du sol ou de la mer, où était le Nord, et s'il fallait conduire à gauche ou à droite !

À ma mère qui m'a appris la persévérance, la curiosité, transmis son goût pour les voyages, les cultures et m'a sans cesse encouragée dans ce travail, en suivant avec attention et humour l'évolution de mes questionnements. Une maman multi-tâches qui a bien voulu se prêter au jeu de « second de cuisine » dans le restaurant de Saint-Paul pour financer un séjour aux Pays-Bas, de colocataire baby-sitter à Utrecht et qui a aussi très gentiment accepté de relire ce travail. Merci pour tout l'amour que tu me donnes.

À Anne, qui a été d'un soutien sans faille et d'une grande aide dans la retranscription de plusieurs entretiens. À Cindy, qui a été là, même à distance, et jusqu'au bout de ses possibilités (!) pour la relecture et bien d'autres choses.

À Bérangère, Benoît, Juliette et Suzanne, pour cette colocation rock'n'roll et leur grand soutien en 2012. À Karine, la quatrième de l'aventure du « Vin des Pyrénées », et aussi à Clément avec qui j'espère avoir de fructueux entretiens à venir sur l'implication des architectes dans la gestion du littoral ! À Sophie, rencontrée sur les bancs de Tolbiac et jamais quittée depuis. Merci pour les apéros improvisés, ta générosité et ton intérêt pour ce travail. À Coralie, un vrai rayon de soleil, Hublot et Marius. À Dominique pour sa générosité et sa façon bien à lui d'être toujours présent. To Scott, for his support in many ways, his help, his humour, his energy. À Karine, pour son accueil chaleureux à Londres et les franches rigolades des cousinades. À Ben, Tiff, Xav, Gabriel, Guillaume, Bruno, Déborah et toute la bande des dîners et déjeuners sur l'herbe à Fontenay ! J'en profite pour remercier chaleureusement Tina et Bernard pour leur générosité, leur accueil et leur sens de la fête. À Fanny, pour son amitié et à Andréa. À Léonor, pour les longues discussions, à Nicolas et Mélissa. À Sophie, Charles, Chloé, Caroline et Annie, pour les bons moments passés à Rouen, à Paris, à Utrecht et dans le Sud. À Émilie et David, Elliott et Arthur pour leur gaité et leur énergie. À la Bouchat's team et à sa maison si chaleureuse et toujours accueillante ! Enfin, une pensée pour Alexandre, qui m'a accompagnée pendant les deux premières années de ce travail.

En février 1953, la mer du Nord a été le théâtre d'une énième tempête. Pourtant celle-ci est encore bien présente dans la mémoire collective néerlandaise. Le pays a été particulièrement touché cette fois, recensant plus de 1800 victimes et des dégâts économiques sans précédent : 35 000 animaux noyés, plus de 200 000 hectares de terres inondées, un nombre considérable de bâtiments devenus hors d'usage. Si des tempêtes mémorables se sont régulièrement abattues en Europe du nord-ouest depuis le Moyen-Âge, celle de 1953, par sa violence, a été ressentie par les Zélandais présents sur place comme une véritable « guerre » (Van Veen, 1962). Cet événement dramatique a constitué le facteur déclencheur de l'élaboration d'un plan technique irréprochable, assurant une protection côtière du pays proche du risque zéro : le gigantesque Plan Delta. Pas moins de dix barrages ont été construits en trente ans, modifiant définitivement le fonctionnement naturel du delta zélandais. Expression grandiose du savoir et du savoir-faire des ingénieurs néerlandais, le Plan Delta a pourtant suscité dès les années 1970 de nombreux questionnements et de fortes contestations quant aux conséquences écologiques et économiques et à la pérennité environnementale d'un tel projet.

Cinquante-sept ans plus tard, durant la nuit du 27 au 28 février 2010, le passage d'une forte dépression atteignant 973 hPa, entraînant des vents allant jusqu'à 160 km/h, couplé à un coefficient de marée de 102, a dévasté le littoral atlantique français. La tempête Xynthia a fait une soixantaine de victimes et causé des dégâts économiques majeurs dont le coût a été estimé à plus d'un milliard d'euros par les assureurs. Face à cette situation dramatique, le gouvernement a annoncé, deux jours après la tempête meurtrière, la mise en place d'un « Plan digues », plan national de renforcement des 8000 kilomètres de digues protégeant les zones inondables en France. L'envergure nationale du « Plan digues » rappelle les fondements du Plan Delta néerlandais mis en œuvre au lendemain de la tempête meurtrière de 1953, bien que le décalage temporel entre le lancement des deux plans ait redéfini le contexte social et environnemental. Le débat sur les responsabilités a très vite été relayé par les médias, faisant la une des journaux français pendant plusieurs semaines : faut-il redéfinir les zones inconstructibles avec plus de sévérité comme le suggèrent certains hommes politiques ? Doit-on s'en prendre au mauvais état général des digues, dont les standards de sécurité n'ont pas évolué parallèlement à l'urbanisation galopante du littoral, et par conséquent à la densité démographique et à la valeur économique des terres situées en amont de celles-ci ? Qui est responsable de la construction et surtout de l'entretien des digues ? Ce mot de « digue »,

repris par le gouvernement dans l'annonce de son plan, est très vite devenu indissociable de l'événement tempétueux. Il est vrai que ce symbole de maîtrise technique, de lutte pluriséculaire contre les submersions marines, de sécurité faisant office de dernier rempart contre la mer, a été particulièrement heurté par Xynthia. Au matin du 28 février, c'est un paysage apocalyptique que les personnes présentes découvrent : des bateaux empalés sur des réverbères, échoués à terre, des voitures plantées dans les ports, des routes dénudées, de vastes champs transformés en mers intérieures, des digues arasées par les flots, parfois totalement éventrées sur plusieurs dizaines de mètres comme au Martray, sur l'Île de Ré. Une habitante particulièrement choquée après avoir lutté avec son mari toute la nuit pour survivre me confiera dans un sanglot étouffé, deux jours après le passage de Xynthia : « *les digues n'ont pas tenu le coup, elles nous ont lâchés !* ». Cette personnification de la digue montre bien la force du symbole qu'elle recouvre, et explique par conséquent comment ce simple ouvrage technique a pu cristalliser toutes les incompréhensions, les colères, les angoisses de la population, largement relayées par les médias. Mais les digues, symbole d'une vision techniciste et défensive du trait de côte, sont-elles le seul moyen de prévenir les submersions marines dans le contexte de réchauffement climatique et d'élévation du niveau marin ? Répondent-elles également à la prise en compte d'enjeux environnementaux rendue incontournable par la politique internationale de Gestion Intégrée des Zones Côtières ? Non, certainement.

Toutefois, si « la digue », ouvrage de maçonnerie, ne peut apporter toutes les solutions aux problèmes de gestion du littoral, elle peut constituer une entrée de réflexion intéressante pour une méthode itérative. Point de départ d'un « chemin » de recherche, la digue peut conduire à la reconstruction d'une globalité, permettant l'analyse des articulations fonctionnelles et dynamiques entre un objet territorial - le littoral -, une action - la gestion de ce territoire spécifique - et un groupe d'acteurs historiquement influents et à l'autorité longtemps incontestée - les ingénieurs. Le sujet de cette thèse porte donc sur le renouvellement de la gestion du littoral nord-ouest européen et interroge plus précisément l'implication des ingénieurs du génie civil dans cette évolution. Le génie civil comprend en effet la conception et la réalisation d'infrastructures liées aux travaux publics et au bâtiment. Sur le littoral, ce domaine recouvre les constructions hydrauliques, c'est-à-dire les digues, les barrages et les jetées portuaires, de même que les épis et les enrochements etc. Ce sont donc les ingénieurs du génie civil qui ont eu jusqu'à présent la charge d'équiper le littoral pour assurer la sécurité des personnes, des activités et des biens face aux risques littoraux.

Cette introduction expose d'une part les raisons qui ont amené à se questionner aujourd'hui sur le rôle de cet acteur particulier du territoire littoral d'une part, d'autre part l'intérêt d'une approche géographique de la question d'autre part.

I. Pourquoi s'intéresser aujourd'hui au rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral ?

A. Une présence continue des ingénieurs dans l'aménagement du territoire...

En France, depuis la création des corps d'ingénieurs au XVII^e siècle, puis de l'École des Ponts et Chaussées en 1747 et jusqu'à aujourd'hui, les ingénieurs ont toujours été présents et particulièrement investis dans l'organisation du territoire. Les ingénieurs des Ponts et Chaussées ont su, pendant ces deux siècles et demi, se mettre au service de l'intérêt général en répondant à des besoins économiques et sociaux renouvelés en permanence. De la création d'un réseau national de canaux à celui du chemin de fer en passant par l'empierrement et l'élargissement des routes, les ingénieurs du génie civil ont contribué à réduire les temps de transport, à rationaliser le maillage des réseaux de communication. À l'origine des révolutions industrielle puis technologique, ils ont traversé les ruptures économiques et sociales en s'adaptant à des contextes en constante évolution. Les ingénieurs anglais ont également joué un rôle crucial dans l'économie de leur pays, le propulsant à la tête des puissances mondiales dès le début du XIX^e siècle. Enfin, les ingénieurs néerlandais ont eu une influence prépondérante dans l'aménagement de leur littoral comme des littoraux européens, qu'ils ont contribué à modeler dès le XVI^e siècle (Van Veen, 1962). Aujourd'hui encore, la figure de l'ingénieur hollandais est bien vivante : ces ingénieurs sont perçus comme les garants de la sécurité d'un pays particulièrement vulnérable aux tempêtes et aux submersions marines.

B. ... et pourtant un manque général d'études en sciences sociales sur cet acteur

Pourtant, malgré leur présence continue, force est de constater que les études manquent en sciences sociales sur cet acteur influent. Si de nombreux sociologues se sont efforcés de définir l'ingénieur par le biais de la réglementation, par la recherche d'une morale, d'un « code » professionnel ou d'un rôle social, par la formation ou encore par comparaison de statuts entre pays, les résultats n'ont pas permis de saisir l'essence même de l'ingénieur et de l'ingénierie. Fort de ce constat, M. Davis, philosophe américain, a lancé en 1998 une large enquête auprès des chercheurs en sciences sociales, regroupant quatre questions principales : « *Qu'est-ce que l'ingénierie ? Que font les ingénieurs ? Comment sont prises les décisions par les ingénieurs ? Que peuvent faire les ingénieurs ?* » (Davis, 1998, p. 172). Dix ans plus tard, C. Didier, dans son ouvrage *Penser l'éthique des ingénieurs*, pose la question de savoir si « *la diversité des métiers, des fonctions, des univers ferait (...) de l'ingénieur [actuel] « un homme sans image ?* » bien éloigné de la figure de l'ingénieur du passé qui imposait respect et bénéficiait d'une forte reconnaissance sociale (Didier, 2008, p. 161). En 2009, F. Pousin en arrive à une conclusion similaire : « *en réalité, la figure de l'ingénieur est complexe. Au-delà de l'image de légende forgée par le XIX^e siècle et la révolution industrielle, l'ingénieur est un personnage contradictoire, difficile à cerner et peu enclin à se laisser enfermer dans un rôle et une définition* » (Pousin, 2009, p. 5). De même, les intitulés des derniers colloques ayant marqué la réflexion sur le sujet soulignent le besoin « d'y voir clair ». En 1981, A. Thépot a

dirigé un colloque, devenu une référence en la matière, consacré à « *l'ingénieur dans la société française* » et aux problèmes de dilution de ce groupe professionnel dans la catégorie des « cadres ». Trente ans plus tard, le colloque organisé par l'EHESS et intitulé « *Un ingénieur, des ingénieurs : expansion ou fragmentation ? Nouveaux regards et approches comparées* » montre que la question de l'identification du groupe professionnel, au regard de la diversité des métiers et des formations est toujours d'actualité. En 2010, l'Université de Tous Les Savoirs organisait également une série de conférences sur le thème des ingénieurs et de leur évolution professionnelle. Claude Maury, alors délégué régional du Comité d'Etudes sur les Formations d'Ingénieurs, y qualifiait l'évolution du corps des ingénieurs de « *mutation rapide quasi imprévisible* »¹. Cette évolution peut se lire, dès les années 1970, à travers un événement considérable en France : le droit à des formations universitaires de délivrer le diplôme d'ingénieur. Aujourd'hui un quart des ingénieurs français sont formés par l'université. Cette ouverture aux universités est allée de pair avec une multiplication des spécialités et la formation d'ingénieurs de plus en plus spécialisés, ce qui a contribué, d'une certaine façon, à rendre encore plus flous les contours d'une définition de l'ingénieur.

La prédominance de la recherche en sociologie sur ce groupe professionnel s'explique sans doute par le succès de différentes publications sur le rôle social de l'ingénieur, dont Le Play, ingénieur des Mines, a lancé la question et le mouvement en 1864 dans un ouvrage fondamental : *La Réforme sociale en France*. Il sera suivi quelques années plus tard par H.-R. Pupey-Girard avec « *L'ingénieur et son rôle social* » publié dans la revue *Études*², puis en 1932 par G. Lamirand avec l'ouvrage intitulé *Rôle social de l'ingénieur*. Les différentes études sociologiques menées sur les ingénieurs ont principalement eu pour cadre la sociologie du travail. Elles se sont concentrées sur la délimitation des contours précis de la profession, cherchant à définir l'évolution du rôle des ingénieurs au sein de la société, de la moitié du XIX^e siècle jusqu'au milieu du XX^e siècle, avant de se pencher plus particulièrement sur le positionnement des ingénieurs dans l'entreprise et sur la spécialisation croissante de la profession – si tant est que l'on puisse regrouper les ingénieurs en une profession – au risque de son éclatement.

Ce n'est que très récemment qu'un nouveau champ de recherche - celui de la sociologie de l'environnement - a défini un cadre de travail encore inusité dans lequel l'analyse sociologique de ce groupe socioprofessionnel a pris un nouvel essor. Dans son ouvrage *Pluies acides : menaces pour l'Europe*, publié en 1988, P. Roqueplo, lui-même polytechnicien, s'intéresse à la place accordée aux questions environnementales dans le monde industriel. Il constate que « *dans une entreprise importante, il est habituel de trouver un coordinateur-environnement situé auprès de la Direction Générale et un ingénieur responsable des questions d'environnement (et souvent de sécurité) dans chaque usine* » (Roqueplo, 1988, p. 67). Ces médiateurs de l'environnement sont avant tout des ingénieurs et non des diplômés de l'université : « *si nous en croyons nos interlocuteurs, l'enseignement « écologique » distribué dans les universités ne sert à rien ; ou du moins : il ne sert à rien en*

¹ Intervention de Claude Maury pour la conférence « la formation des ingénieurs aujourd'hui : continuités, comparaisons, mutations » du 13 janvier 2010 dans le cadre d'un cycle de conférences de l'Université de Tous Les Savoirs : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine*.

² Pupey-Girard H.-R., « L'ingénieur et son rôle social », *Études*, XXXII^e année, t. LXIV, janvier-février 1895, p. 3-7 cité dans Didier C., 2008, *Penser l'éthique des ingénieurs*, Paris, PUF, 199 p.

ce qui concerne la prise en charge de l'environnement au sein du monde industriel » (Roqueplo, 1988, p. 74). Ainsi, à la fin des années 1980, il semblerait que la question environnementale (qui s'apparente finalement plus à de l'écologie : traitement chimique des déchets, de la pollution atmosphérique...) soit le nœud d'une bataille opposant le monde universitaire aux ingénieurs : « de toute façon on ne cherche pas des gens qui aient une formation universitaire « environnement », mais DES INGENIEURS qui aient un langage commun avec les gens de l'entreprise et qui connaissent les problèmes réels »³ (Roqueplo, 1988, p. 77). Comme le souligne l'auteur, cette volonté des ingénieurs d'affirmer leur autorité sur ces questions nouvelles en rejetant systématiquement les compétences du monde universitaire « n'implique-t-[elle] pas le risque que l'approche environnementale ne soit dès lors considérablement technicisée ? » (Roqueplo, 1988, p. 75). Cette réduction de la conception environnementale à sa dimension exclusivement réglementaire va en effet à l'encontre de la définition de l'environnement proposée par Y. Veyret dans le *Dictionnaire de l'Environnement* : « l'environnement ne recouvre pas seulement la nature, pas davantage la faune, ni la flore, ce que l'on nomme aujourd'hui la « biodiversité », pas plus que les pollutions et les dégradations. Ce terme désigne les relations d'interdépendance complexes existant entre la nature et les sociétés » (Veyret, 2007, p. 133). Cette position, quelque peu rigide, rapportée par P. Roqueplo en 1988 a depuis évolué. Constatant que, parmi les nouvelles spécialités enseignées, l'environnement semble faire figure de mauvais élève jusqu'au milieu des années 1990, et qu'il n'est que peu mis en avant encore aujourd'hui dans les formations d'ingénieurs, C. Maury, lors de la même conférence de 2010, indiquait à ce propos : « les formations d'ingénieurs ne savent pas très bien ce qu'elles doivent faire, mais elles savent qu'elles doivent changer »⁴.

La capacité du corps des ingénieurs « à absorber la nouveauté et à la digérer sans nécessairement que cela se traduise par une modification marquante de leurs conceptions et de leurs pratiques » se retrouve également quelques années auparavant lors de la création, en 1971, du premier Ministère de l'Environnement dirigé par Robert Poujade (Lorenza *et al.*, in Lévy & Lussault, 2003, p. 63). Lors d'une interview réalisée le 28 mars 2011, le journaliste Emmanuel Laurentin pose la question du contexte de création de ce nouveau ministère à Robert Poujade⁵ :

EL : Comment vous y prenez vous en 1971 pour créer ce ministère, puisque c'est un nouveau ministère et que tout reste à inventer ? De qui vous entourez-vous ?

RP : J'ai réuni des hommes en utilisant une formule (...) française : il fallait trouver des pierres vives, des spécialistes d'origines diverses, les uns des Mines, les autres de l'Igref, les ingénieurs ruraux, et des diplomates. Et avec cette équipe

³ extrait d'un entretien mené par P. Roqueplo au cours duquel un coordinateur-environnement d'une grande firme répondait à la question : « Comment êtes vous parvenu à ce poste ? »

⁴ Intervention de Claude Maury pour la conférence « la formation des ingénieurs aujourd'hui : continuités, comparaisons, mutations » du 13 janvier 2010 dans le cadre d'un cycle de conférences de l'Université de Tous Les Savoirs : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine.*

⁵ Emission La Fabrique de l'Histoire consacrée à l'histoire de l'environnement et diffusée le 28 mars 2011 sur France culture, podcastable sur le site : www.franceculture.fr/emission-la-fabrique-de-l-histoire-histoire-de-l-environnement-14-2011-03-28.html

resserrée – mais c'étaient les meilleurs de leur corps – nous avons véritablement créé une cellule d'action qui a joué un rôle capital.

EL : C'était un ministère technique ou de techniciens, au départ ?

RP : C'était un ministère de techniciens mais qui avaient des âmes d'apôtres !

Ainsi, quel que soit le degré de nouveauté du contexte dans lequel ils se trouvent, les ingénieurs semblent avoir eu de tout temps la capacité à s'adapter et à faire valoir la prédominance de leur compétence technique. Pourtant, de récentes publications persistent à questionner cette élasticité des ingénieurs, envisageant parfois une rupture plus profonde et par conséquent plus difficile à surmonter que celles auxquelles ils ont pu être confrontés par le passé. Kristoff Talin et C. Didier ont tenté de mesurer les facteurs expliquant la tendance des ingénieurs à s'adapter ou au contraire à résister aux questions environnementales en s'interrogeant de la façon suivante : « *Les dynamiques environnementalistes s'observent-elles parmi les ingénieurs ?* » (Didier *et al.*, 2014, à paraître). Cette étude s'appuie principalement sur les résultats d'une enquête quantitative réalisée en 2011 auprès de 27 000 ingénieurs⁶. Les premiers résultats montrent que de telles dynamiques se dessinent effectivement et qu'elles s'expliquent principalement par des facteurs endogènes, dont une grande part tient à la formation technique des ingénieurs. Ainsi la majorité des ingénieurs interrogés pense que « *les problèmes environnementaux peuvent être solutionnés par une réponse technique* ». Pour autant, seuls 8% des ingénieurs interrogés affirment que le « *destin de l'Homme est de dominer la Nature* », ce qui marque une réelle évolution de pensée par rapport au courant techniciste exacerbé du XIX^e siècle, selon lequel seule la maîtrise de la technique pouvait contribuer au progrès et donc au bonheur social. Enfin, l'âge des ingénieurs interrogés est également important à prendre en compte : « *Rappelons qu'en 2011, un ingénieur de 29 ans est né en 1982. Il a donc grandi et a été socialisé, volens nolens, aux questions environnementales* » (Didier *et al.*, 2014, à paraître).

Cette étude très intéressante et sur laquelle je reviendrai, s'est attachée principalement à décrypter les représentations des ingénieurs sur les questions environnementales de façon générale, sans lien particulier avec leurs pratiques et sans focus sur un milieu particulier. Or, une approche géographique permettrait de relier la dimension immatérielle des représentations à la dimension matérielle des pratiques mises en œuvre sur le terrain et participant de la composition du paysage littoral et de sa gestion.

⁶ Résultats de la 22^e enquête socio-professionnelle conduite par Ingénieurs et Scientifiques de France. Ces données portent sur la situation des ingénieurs diplômés des écoles françaises au 31 décembre 2010, elles ont été recueillies dans le courant des mois de mars et avril 2011 : Talin K. et Didier C., 2011, « Les ingénieurs et l'éthique », in Darsch C. et Longuet L. (dir.), *Ingénieurs 2011. 22^e enquête d'Ingénieurs et Scientifiques de France (CNISF)*, Paris, Ingénieurs et scientifiques de France, pp. 73-77.

II. Les apports d'une approche géographique dans l'étude d'un acteur particulier du territoire littoral

A. L'analyse de l'articulation représentations/pratiques de gestion du littoral, au service d'une géographie sociale et culturelle de l'environnement

Là où la sociologie de l'environnement identifie des groupes socio-professionnels par l'analyse des représentations qu'ils se font de questions environnementales générales, la discipline géographique peut compléter cette analyse en ancrant la réflexion dans l'espace et en l'associant à un contexte physique et social spécifique. Autrement dit, l'approche géographique, en utilisant les méthodes développées par la sociologie, offre une nouvelle grille de lecture du territoire par l'analyse de l'articulation entre représentations et pratiques spatialisées.

Bien que relativement récente en géographie, l'analyse des perceptions c'est-à-dire la « *fonction par laquelle l'esprit se représente des objets en leur présence* » (Bailly 1985, in Di Méo, 1991, p. 123) – et des représentations qui consistent en « *une perception modelée par la psyché* » (Di Méo, 1991, p. 123), a pris une ampleur considérable ces dernières décennies. Cette orientation affirme la nécessaire prise en compte de la subjectivité dans l'étude des territoires. Si cette position a été largement discutée, voire contestée⁷, il semblerait aujourd'hui qu'elle soit majoritairement admise au sein de la discipline. Dès l'introduction de son ouvrage *Les représentations mentales en géographie*, J.-P. Paulet insiste « *sur un point capital : l'analyse des représentations mentales n'est pas une branche de la géographie parmi d'autres... Il s'agit de l'essence même de la discipline. Toutes les grandes questions doivent tenir compte de la façon dont les hommes « voient » leur environnement* » (Paulet, 2002, p. 2). Hervé Gumuchian va même plus loin en affirmant « *qu'il y a bien longtemps que l'irrationnel tient une place aussi importante, sinon plus, que le rationnel dans l'organisation de l'espace* » (Gumuchian, 1991). Ainsi, analyser le rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral, c'est prendre en compte la perception d'un espace géographique par des techniciens eux-mêmes responsables de la gestion de ce territoire. Or cette démarche se réclame à la fois d'une géographie sociale et d'une géographie culturelle de l'environnement.

La géographie de l'environnement intègre par essence les volets naturaliste et social de la géographie (Goeldner-Gianella, 2013). Indissociable de l'étude du milieu et par conséquent d'une approche « physicienne », cette branche récente de la géographie se compose également d'une dimension sociale évidente puisque intrinsèque à toute démarche géographique étudiant les faits sociaux en lien avec leurs répercussions spatiales. Née dans les années 1960 par opposition à la nouvelle géographie qui reposait principalement sur des techniques quantitatives (Claval, 2008), la géographie sociale « *intègre à son étude de l'espace les caractéristiques générales de la complexité spécifique du social : l'historicité, la socialité (la société n'est pas la simple somme de ses éléments), la pragmatique (existence d'actions et d'acteurs), le rôle des langages et des représentations comme composantes majeures du réel* »

⁷ Critique d'une confusion sujet-objet, de la subjectivité et de l'empathie du chercheur, et enfin d'une absence de rigueur (Brunet, Pouliot, Berque in Bailly & Scariati, 1990, pp. 156-157).

social [...] » (Lévy in Lévy-Lussault, 2003, p. 400). Elle intègre donc également des caractéristiques que d'aucuns associent à la géographie culturelle. Cette thèse de géographie environnementale s'inscrit dans ces deux champs. Pour ce faire, trois axes de réflexion seront développés :

- la relation espaces / acteurs, et plus précisément le lien entre littoral et ingénieurs pour répondre à la question suivante : comment les ingénieurs se représentent-ils le littoral qu'ils aménagent ?

- les évolutions socio-spatiales, c'est-à-dire de l'ensemble des facteurs, objectifs et subjectifs, qui ont forgé et modelé les représentations des ingénieurs,

- enfin, la relation ingénieurs / autres acteurs pour comprendre comment les ingénieurs se sont appropriés la réflexion pluridisciplinaire, où ils se situent dans cette interdisciplinarité indissociable de la notion de gestion du littoral et quelles transformations spatiales elle a permise.

Plus précisément dans le champ culturel, loin de défendre une vision déterministe, ce travail met en exergue « *des réalités mouvantes* », relevant entre autres de la « *médiation entre les hommes et la nature* », d'un « *héritage* » et « *résultant du jeu de la communication* » (Claval, 2003, pp. 5-6). Si l'approche culturelle peut se lire à tous les niveaux (Deneux, 2000) deux échelles feront l'objet d'une attention particulière. D'une part, l'échelle nationale pose la question de l'appartenance à un pays, à une unité géographique ayant sa propre culture, développant sa propre mémoire collective de même que ses propres projections pour l'avenir. Or cette « culture nationale » peut différencier les représentations que les ingénieurs néerlandais, anglais et français se font du littoral et par conséquent expliquer en partie les différentes solutions de gestion qu'ils imaginent. D'autre part, au-delà de l'échelle géographique, se trouve celle du groupe professionnel des ingénieurs eux-mêmes. Cette approche fait ici référence à une acception moderne et plus large de la notion de culture. Il s'agirait, si elle existe, d'une « culture d'ingénieur », au sens de connaissance et de savoir-faire, apparentée à un « mode de pensée ingénieur ». Autrement dit la question est de savoir dans quelle mesure l'appartenance à ce groupe professionnel a une influence qui dépasserait celle des frontières.

B. L'importance d'une approche multi-scalaire

L'étude de la gestion d'un territoire implique pour le géographe une réflexion multi-scalaire. La mise en œuvre de la gestion d'un territoire est en effet rendue possible par l'existence préalable d'une politique générale d'aménagement définie à l'échelle nationale (les définitions retenues pour les termes gestion, aménagement et équipement sont exposées en première partie de thèse). Plus que la juxtaposition de différentes échelles d'analyse, l'articulation du passage d'une échelle à l'autre, et ainsi une réflexion sur les emboîtements d'échelles spatiales et temporelles, est nécessaire pour comprendre et expliquer les pratiques de gestion. Ainsi, l'approche comparée entre les Pays-Bas, l'Angleterre et la France inscrit d'emblée ce sujet de recherche dans un contexte européen, défini par des caractéristiques

communes, tant politiques – telle la GIZC - que climatiques – chapitre 23 du dernier rapport du GIEC (2013). Par conséquent, se pose la question des modalités d'application des principes européens mis en avant par cette recommandation à une échelle nationale : comment des territoires nationaux tels la France, les Pays-Bas et l'Angleterre s'approprient-ils cette directive européenne fondamentale pour appréhender la gestion dite intégrée du littoral ? De même, le réchauffement climatique global déjà engagé doit être envisagé dans un premier temps à l'échelle européenne puis dans un deuxième temps à l'échelle nationale afin de comprendre comment les pays européens adaptent ces prévisions régionales⁸ à leur territoire. Autrement dit, les modèles utilisés par les Anglais, les Français ou les Néerlandais sont-ils semblables ?

La question de l'adaptation se pose aussi entre l'échelle nationale et régionale et enfin entre les échelles régionale et locale : de façon pratique, comment sont résolus les problèmes locaux de gestion du littoral lorsque doivent être intégrées des directives européennes, puis nationales, puis régionales ? Pour répondre à cette question, le choix a été fait de se pencher sur des projets d'aménagement en cours de réflexion, en cours de réalisation ou déjà réalisés. C'est après avoir choisi des cas d'étude potentiellement intéressants au regard de l'innovation dont ils faisaient preuve, qu'elle soit technique ou conceptuelle, que s'est effectué le choix des acteurs à rencontrer : des ingénieurs bien évidemment, mais aussi d'autres experts scientifiques, tels des écologues, des sédimentologues, des géographes physiciens et humains, des géologues..., tous impliqués dans les projets sélectionnés. L'observation des pratiques de gestion côtière a ensuite été confrontée aux discours des acteurs locaux⁹, des acteurs régionaux¹⁰, puis des acteurs travaillant à l'échelle nationale¹¹, et enfin aux discours de quelques ingénieurs et experts scientifiques ayant travaillé à l'élaboration de la GIZC et ayant participé à l'élaboration du rapport du GIEC datant de 2007.

Ainsi la démarche géographique permettra d'effectuer un va-et-vient depuis l'échelle européenne jusqu'à l'échelle locale en passant par les échelles nationale et régionale, puis inversement en analysant chaque fois les caractéristiques du passage d'une échelle de gestion à l'autre.

⁸ Il est entendu par région ici la région du nord-ouest européen.

⁹ acteurs travaillant pour les Syndicats Mixtes, pour les communautés de communes, les communes etc...

¹⁰ conseils régionaux, provinces néerlandaises, comtés anglais, division régionale du Conservatoire du littoral en France, de l'*Environment Agency* en Angleterre, du *Rijkswaterstaat* aux Pays-Bas.

¹¹ Commission Delta aux Pays-Bas, Plan National de Renforcement des digues en France, EUCC sections France, Pays-Bas et Angleterre...

C. Comparer pour enrichir l'exemple français

« Avant que nous commençons, j'aimerais vous demander pourquoi vous avez choisi de comparer la situation française à celle des Pays-Bas ? C'est vrai ! Tout le monde ne voit que par les Pays-Bas, mais les enjeux sont complètement différents ! Il faut comparer ce qui est comparable ! »¹²

D'une façon générale, la démarche comparative permet de faire ressortir des similitudes ou des différences entre un objet d'étude et son comparé. Elle renforce ainsi les spécificités propres à l'objet d'étude, ou au contraire elle relativise l'originalité des caractéristiques de l'objet si celui-ci présente des ressemblances importantes avec l'objet comparé. La question qui se pose alors est le degré de similitude que deux objets doivent montrer pour être comparés. Autrement dit tout est-il comparable ? Dans son ouvrage *Comparer l'incomparable*, M. Detienne remet justement en question « la formule quasi proverbiale 'on ne peut comparer que ce qui est comparable' », et va jusqu'à recommander d'oublier « les conseils prodigués par ceux qui répètent depuis plus d'un demi-siècle qu'il est préférable d'instituer la comparaison entre des sociétés voisines, limitrophes et qui ont progressé dans la même direction, main dans la main, ou bien entre des groupes humains ayant atteint le même niveau de civilisation et offrant au premier coup d'œil suffisamment d'homologies pour naviguer en toute sécurité » (Detienne, 2009, p. 9 & p. 43). Partant de ces conseils, il ne paraît pas absurde de prendre pour support de comparaison trois pays européens, présentant des enjeux différents, malgré plusieurs points d'analogie. La question n'est finalement plus de savoir ce qui est comparable, mais plutôt comment procéder pour établir une comparaison. Une des solutions possibles, encouragée par M. Detienne, consiste à utiliser une entrée de comparaison. La notion de *rôle* a été choisie comme telle. Comprendre le rôle d'un individu, ou d'un groupe d'individus, nécessite, entre autres, de replacer cet individu ou ce groupe d'individus dans un contexte historique, social, professionnel, politique, culturel. Ainsi, analyser le rôle actuel des ingénieurs dans la gestion du littoral semble d'autant plus pertinent que différents territoires, différentes organisations politiques, différents acteurs et par conséquent différentes professions sont mis en perspective. Mais avant de détailler plus avant la méthodologie mise en œuvre pour aboutir à cette analyse (cf. partie 1), précisons ce qui réunit et ce qui différencie les trois pays d'étude retenus.

1. Trois pays liés par des contraintes communes...

Déceler des différences fines grâce à la comparaison est d'autant plus aisé que les objets comparés offrent un contexte commun. Or les Pays-Bas, la France et l'Angleterre partagent non seulement des contraintes physiques mais aussi des contraintes politiques européennes. La zone géographique concernée par les Pays-Bas, l'Angleterre et le Nord-Ouest au sens large de la France présente une cohérence climatique illustrée par la présence historique de fortes tempêtes, destructrices voire meurtrières comme ce fut le cas en 1953 aux Pays-Bas et en Angleterre, et en 2010 en France. En ce qui concerne l'évolution climatique de

¹² Extrait du début d'un entretien réalisé en France.

la région, le chapitre 23 du rapport du GIEC de 2013 prévoit une relative augmentation de la vitesse des vents entre les 45°N et 55°N, c'est-à-dire en mer du Nord et en Atlantique Est. Par conséquent, il faut attendre une potentielle augmentation des ondes de tempêtes dans la région, connues pour leur dangerosité, en particulier à l'abord des côtes basses. Or ces dernières, qu'elles soient sableuses ou endiguées, sont particulièrement présentes sur les littoraux anglais, néerlandais et français (Carte 1). De même, les trois pays offrent des zones d'estuaire particulièrement vulnérables à la submersion marine - vulnérabilité renforcée localement, en Angleterre et aux Pays-Bas, par un mouvement continu d'affaissement des terres. Ainsi la comparaison des réponses d'adaptation au réchauffement climatique envisagées sur des territoires soumis aux mêmes aléas climatiques permet de faire ressortir les différences des choix de gestion retenus par les trois pays. La France peut-elle s'inspirer des orientations de gestion adoptées par ces deux pays voisins ? Par ailleurs, l'Angleterre, la France et les Pays-Bas appartiennent à l'Europe et sont soumis par conséquent aux mêmes recommandations, telle la GIZC. Là encore, la recherche de différences d'application est privilégiée par ce contexte commun : à un discours européen, correspond-il, ou non, des pratiques similaires à l'échelle nationale ?

2. ... et aux spécificités remarquables

En l'occurrence, les enjeux de protection contre le risque de submersion marine varient d'un pays à l'autre et les Pays-Bas font sans doute figure d'exception en la matière (Tabl. 1).

	Grande-Bretagne	Pays-Bas	France
Longueur des côtes (km)	4400	450	5500
Côtes artificialisées (km – %)	1200 (27 %)	256 (57 %)	1000 (18 %)
Population (millions d'hab.)	53	16	66
Population vulnérable à la submersion marine (millions d'hab.)	5,5 (2008)	9 (2008) 11 (2100)	1,4 (2013)
Subsidence moyenne (2008-2050)	-9 cm	- 50 cm	/
Part de l'économie impactée par le risque de submersion	50 % PIB (2008)	65 % PIB (2008) 69 % PIB (2050)	850 000 emplois exposés
Budget annuel consacré à la protection côtière (€)	665 millions	2,8 milliards	20 millions en moyenne 100 millions (Fonds Barnier jusqu'en 2016) lié au Plan Submersion Rapide

Tableau 1 : comparaison des données physiques et socio-économiques rapportées aux littoraux des trois pays d'étude. Sources : site de l'Environment Agency : <http://www.environment-agency.gov.uk> ; site du Rijkswaterstaat : <http://www.rijkswaterstaat.nl/en/> ; Unie van Waterschappen, 2011 ; site l'Observatoire national de la mer et du littoral : <http://www.onml.fr> ; BRGM, 2011 ; site du MEDDE : <http://www.developpement-durable.gouv.fr> ; Site Prim.net, bouquet de prévention des risques : www.risques.majeurs.fr ; Communication de la DGPR, service des risques naturels et hydrauliques, octobre 2013 : <http://www.iffa-rme.fr/Pays-de-la-Loire/Plan-Submersion-Rapide.pdf> ; EEA, 2012 ; EPRI 2011 : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/12010_EPRI-Principaux-resultats.pdf.

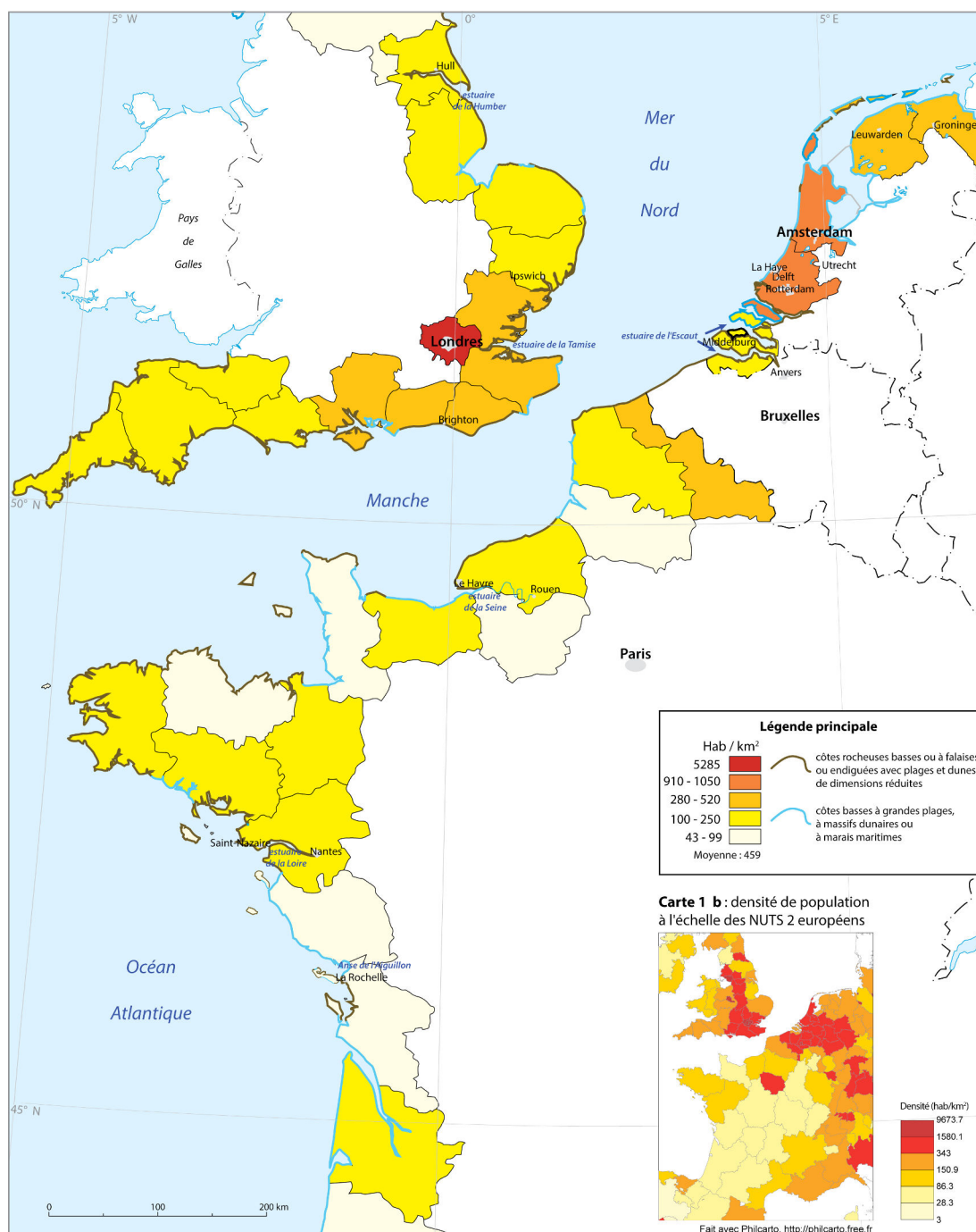
Les Pays-Bas affichent en effet une superficie restreinte de 41 528 km² pour une population de plus de 16 millions d'habitants, dont 9 millions, soit plus de la moitié étaient,

en 2008, concernés par le risque de submersion marine. En l'absence de dunes et de digues, près de 65 % du territoire seraient submergés par la mer mais aussi par les fleuves. Cette région d'Europe concentre en effet les estuaires de trois grands fleuves : le Rhin, la Meuse et l'Escaut. Deux ans après la tempête de 1953, les Pays-Bas ont mis en œuvre le Plan Delta : trente ans de travaux titanesques barrant les bras du Rhin, de la Meuse et de l'Escaut oriental de façon à isoler définitivement le pays des invasions marines. Le territoire néerlandais s'était déjà développé et transformé au fil des siècles – 6 à 7000 km² de terres ont été poldérisées depuis le XI^e siècle - jusqu'à permettre aux Néerlandais de vivre aujourd'hui à - 6,7 m du niveau de la mer, près de Rotterdam (Huisman, 2006). Par conséquent, la protection contre la submersion marine et fluviale représente un enjeu vital pour le pays, dont l'économie est concentrée le long des côtes. Cette adaptation continue explique sans aucun doute la renommée technique internationale des ingénieurs néerlandais. La France et l'Angleterre, tout comme d'autres pays européens, ont en commun d'avoir été influencées par le savoir-faire des ingénieurs hollandais, venus mettre en œuvre, dès le XVI^e siècle, leur technique d'assèchement des marais et de poldérisation des côtes (Wagret, 1959). Ces mêmes ingénieurs ont par la suite « formé » leurs homologues européens et l'empreinte de cette réputation technique se lit encore aujourd'hui dans les marais français cerclés de nombreuses « Digues des Hollandais » (Bertrand & Goeldner, 1999).

La Grande-Bretagne, sans présenter des enjeux exactement comparables à ceux des Pays-Bas, est un royaume également menacé par la submersion marine : en 2008, 50 % de son PIB et un dixième de la population pouvaient être touchés par le risque submersion (Tabl. 1). Mais l'originalité du cas anglais tient en particulier à l'avancée technique du pays en matière de dépoldérisation. Depuis près de trente ans une gestion innovante de certaines côtes poldérisées y est expérimentée : le « *managed realignment* ». Cette technique de réaligement contrôlé du trait de côte, qui consiste par exemple à percer la digue de front de mer de brèches tout en reconstruisant une nouvelle digue arrière, permet d'atténuer la force des vagues, ralenties par le pré salé ayant colonisé le nouvel espace intertidal recréé. Ce mode de gestion innovant sera détaillé en seconde partie.

Enfin en France, la situation générale est un peu différente : le territoire est plus grand, moins densément peuplé qu'en Angleterre et aux Pays-Bas (Carte 1a), mais la densité des communes littorales reste 2,5 fois supérieure à la moyenne nationale et le littoral accueille près de 10 % de la population sur moins de 4 % du territoire¹³. Les enjeux présents sur le littoral français sont globalement moins forts que les enjeux néerlandais ou anglais. Ainsi la France n'a pas eu la même nécessité de chercher à développer au cours des dernières décennies des techniques innovantes de gestion côtière ; elle paraît d'ailleurs en retard sur ce plan par rapport à ses voisins. Néanmoins le pays a eu une certaine influence sur ceux-ci, en exportant par exemple aux Pays-Bas son système centralisé de gestion du territoire, hérité de l'époque napoléonienne. Nombre de Néerlandais rencontrés dans le cadre de ce travail de thèse, n'ont d'ailleurs pas manqué de mentionner ce fait marquant, selon eux, à l'origine d'une régulation, d'une réorganisation et d'une hiérarchisation des niveaux administratifs de gestion de l'eau en Hollande.

¹³ Fiches de l'Observatoire national de la mer et du littoral, consultable sur le site : <http://www.onml.fr/chiffres-cles/cadrage-general/demographie-occupation-du-sol-et-logement/>



Carte 1a : Présentation du contexte nord-ouest européen. Sources : données France : INSEE, population 2013 ; données Angleterre : Office for National Statistics, population 2012 ; données Pays-Bas : Centraal Bureau voor de Statistiek, population 2012, EUCC, 2004. Réalisation : S. Gueben-Venière, G. Decroix, 2014. Carte 1b réalisée avec Philcarto, données : eurostat, 2010-2012.

La carte 1a met en valeur les densités des populations vivant près des côtes dans les trois pays : plusieurs départements littoraux français ne dépassent pas les 100 hab/km² alors que c'est un seuil minimum pour les provinces néerlandaises et les comtés anglais, exception faite du North Yorkshire (75 hab/km²). Par ailleurs, la carte 1b montre que les enjeux

démographiques à l'échelle du nord-ouest de l'Europe sont concentrés au sud-est de l'Angleterre et dans le centre des Pays-Bas, de l'Ouest à l'Est. La Zélande fait figure d'exception dans la région avec une densité de population des plus faibles (213 hab/km²).

3. Une comparaison également établie entre ingénieurs et autres acteurs de la gestion côtière

Quel que soit leur champ d'entrée, les études menées et colloques tenus sur les ingénieurs font état d'une évolution récente de la profession, voire d'une profonde rupture. L'émergence d'autres métiers et disciplines, non seulement compétents, mais désormais incontournables dans la recherche de nouvelles solutions de gestion des territoires, pose en effet la question de leur complémentarité et de leur concurrence avec la profession des ingénieurs, historiquement connus pour leurs compétences techniques. Partant de ce constat, il a semblé nécessaire, outre la comparaison géographique prévue entre les trois pays, de comparer le discours, les pratiques et les représentations des ingénieurs à ceux des autres acteurs de la gestion côtière afin de mieux faire ressortir les caractéristiques du discours des ingénieurs et éventuellement d'un « mode de pensée ingénieur ». Ainsi, de l'échelle locale du site à l'échelle nationale des plans d'aménagement et des stratégies de gestion du littoral, le rôle des ingénieurs, à chaque échelon, a été comparé à celui des écologues, des géomorphologues, des juristes, des géographes des économistes présents et prenant désormais part à la réflexion. La question sous-jacente était d'évaluer le jeu de pouvoir des uns sur les autres, de concurrence et de complémentarité, afin de mieux faire ressortir les spécificités des ingénieurs. De même, l'analyse de projets réalisés ou de plans d'aménagement adoptés autour des années 1960 (Plan Delta aux Pays-Bas, Mission Racine en France), en considérant par exemple la composition des équipes ayant participé à leur élaboration, a été nécessaire pour déceler les ruptures et les continuités dans les fonctions attribuées aux ingénieurs.

Conclusion : le rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral en trois questions.

Pour conclure cette entrée en matière, nous aimerions poser trois grandes questions.

Au regard du rôle fondamental qu'ont joué les ingénieurs européens dans l'aménagement du territoire durant les derniers siècles, la première question logique concerne leur pouvoir de décision et leur influence dans les politiques actuelles et à venir d'adaptation au changement climatique. **Le corps des ingénieurs fait-il toujours autorité en matière d'aménagement et de gestion du littoral ?**

La deuxième question est relative à leur conception du littoral, de son aménagement et de sa gestion. Autrement dit, dans ce contexte environnemental et social nouveau, en constant mouvement, **quelle est l'évolution de réflexion des ingénieurs sur les solutions de gestion du littoral à envisager ?** Quelle est, par exemple, leur échelle de réflexion ? Persistent-ils à défendre une vision « fixiste » et linéaire du littoral, ou au contraire envisagent-ils une approche plus globale, dite « intégrée » de sa gestion ?

Enfin, la troisième question se rapporte au positionnement des ingénieurs par rapport à l'élargissement du panel d'acteurs, souvent universitaires, tels les écologues, les économistes,

les juristes ou les géographes, désormais tout aussi concernés par la gestion du littoral que les ingénieurs. Ce nouvel environnement de travail, imposé par la GIZC¹⁴, est-il suffisamment assimilé par les ingénieurs pour qu'ils envisagent une étroite collaboration avec ces autres acteurs ? Engendre-t-il au contraire une compétition entre eux, ressentie par les ingénieurs comme une perte de pouvoir dans le processus décisionnel ? Enfin, **cette collaboration permet-elle une évolution conceptuelle de la gestion du littoral et l'émergence d'un « génie en environnement » pour le XXI^e siècle au même titre que le « génie civil » a caractérisé le XIX^e siècle ?**

La double comparaison menée entre pays et entre acteurs, permet ainsi de mettre en évidence les différences et les similitudes dans les choix de gestion retenus pour chacun des sites pour répondre à la question : que font les ingénieurs, quelles sont leurs pratiques ? Quels sont leurs discours et les représentations qu'ils se font du littoral et de sa gestion (Partie 2). Une fois décrites, les pratiques doivent être analysées pour faire ressortir les critères de choix des ingénieurs. La question devient alors : pourquoi les ingénieurs font-ils cela ? Cette question renvoie aux événements d'ordres culturel et économique ayant marqué, entre autres, les politiques d'aménagement et de gestion du littoral ou encore à la formation suivie par les ingénieurs (Partie 3). Enfin, la dernière question peut se formuler ainsi : comment les ingénieurs se sont-ils ou doivent-ils s'adapter à ces évolutions ? Quelles perspectives se dégagent pour leur profession ? (Partie 4).

¹⁴ Gestion Intégrée des Zones Côtières

PREMIERE PARTIE

Quand les ingénieurs en charge de la gestion côtière sont-ils apparus ? Comment mener une analyse géographique de leur rôle ?

(Cadrage historique et méthodologique)

La première étape de ce travail a consisté à définir le plus précisément possible les notions intervenant dans la question générale posée : l'implication des ingénieurs dans le renouvellement de la gestion du littoral nord-ouest européen. La notion de *littoral* par exemple est complexe et vaste. Il a donc été nécessaire de la définir sous un angle géographique d'une part, et de préciser d'autre part comment le littoral est envisagé en Angleterre et aux Pays-Bas et s'il prend un sens comparable. De même, à travers cette question, c'est finalement celle du rôle des ingénieurs qui se pose. Or la notion de *rôle* est assez abstraite et se devait d'être explicitée. Le chapitre 1 précise donc les objets de réflexion impliqués dans cette étude.

Par ailleurs, il est nécessaire de comprendre pourquoi les ingénieurs ont, depuis la naissance officielle de cette profession, marqué l'aménagement du territoire au point d'en devenir indissociable, et ce dans les trois pays d'étude. Le territoire, « *espace approprié, avec sentiment ou conscience de son appropriation* » (Brunet *et al.*, 1993) est en effet un concept clé à la fois support et résultat du développement des sociétés. L'intervention des ingénieurs du génie civil pour modeler le territoire – et en particulier le territoire littoral – leur confère ainsi d'emblée une position capitale dans le paysage socio-économique bien que plus ou moins reconnue et mise en avant selon les pays. L'aperçu historique dressé sera mis en perspective avec le contexte socio-économique, mais aussi physique et climatique de la région nord-ouest européenne dans le chapitre 2.

Une fois les jalons du questionnement posés et le contexte défini, il a été possible de mieux définir les techniques de recherche à mettre en œuvre. Le chapitre 3 détaille ces différentes techniques, parfois empruntées à la sociologie, mais dont les objectifs sont bien de mettre en avant l'intérêt d'une analyse géographique.

De la mer au littoral, de l' « *engigneur* » à l'ingénieur : définitions et évolution des notions mobilisées

Le premier chapitre expose les définitions des termes qui seront employés tout au long de ce travail. Ce « détour » sémantique et linguistique se justifie doublement. Certaines notions telles le « littoral » ou la « gestion » sont complexes et résultent d'une longue évolution tant sémantique que conceptuelle. Il s'agit donc non seulement de les définir, mais de retracer, quoique brièvement, le cheminement de pensée qui a conduit à leur sens actuel. Par ailleurs, l'implication des ingénieurs, associée à la notion de « rôle » par exemple, chère aux sociologues, est quelque peu abstraite et nécessite un éclairage théorique pour mieux justifier son emploi dans une étude géographique. Enfin, les langues anglaise, néerlandaise et française ont chacune leurs nuances et un terme ne saurait être traduit de façon littérale pour décrire un même objet.

I. Le « littoral » : un objet territorial complexe

A. De la mer à l'invention du littoral

Le littoral est difficile à définir, et sans doute, toutes les disciplines s'y efforçant s'accorderont sur ce point. L'origine du mot est latine : *litoralis, litus, litoris* qui signifie *rivage*, c'est-à-dire la ligne départageant la terre de la mer et du ciel (Bousquet, 1990). D'abord apparu sous sa forme adjectivée en 1752, le terme littoral désigne alors ce « *qui vit dans les eaux proches du rivage* » (E. Bertrand, 1752, Mémoire sur la structure intérieure de la Terre, in Houdart, 2003, p. 1). Ce n'est qu'en 1828 que le substantif *littoral* voit le jour. Le terme est donc récent et son invention liée à l'émergence du « désir de rivage » et aux nouveaux usages récréatifs qu'offre cet espace (Corbin, 1988 ; Bousquet, 1990). Son sens, depuis lors, n'a cessé d'évoluer, et son contenu dépend largement du point de vue scientifique, légal, économique envisagé.

Avant l'apparition du nom *littoral* dans la langue française, d'autres termes étaient employés pour décrire cette interface entre terre et mer, mais ils faisaient référence tantôt à l'élément marin, tantôt à la bordure terrestre de la mer, jamais aux deux à la fois. La *mer* est sans doute le premier terme chronologiquement parlant faisant référence au futur *littoral*. Ce vaste volume d'eau, sans cesse agité par de furieuses ondes, était source de peurs alimentées par des croyances religieuses et exacerbées par la méconnaissance du milieu, par les disparitions en mer, par les naufrages (Corbin, 1988). La mer était l'environnement des pêcheurs et des navigateurs. Ces derniers ont ensuite contribué à l'émergence du mot *côte*. La côte était le point de repère des navigateurs. Elle représentait le dernier contact avec la terre, monde connu et source de quiétude, avant l'inconnu. C'est pourquoi ils se sont employés à cartographier la côte pour mieux se déplacer et s'orienter. Le large offrait le recul nécessaire pour permettre une vision d'ensemble de cette interface entre terre et mer. C'est donc depuis

la mer que les côtes ont d'abord été cartographiées avant que des cartes terrestres soient établies de façon rigoureuse en France à partir de 1680 par Claude Masse, ingénieur-géographe du roi (Pinot, 2002).

Au XVII^e siècle, reviennent sur le devant de la scène les mots de *rivage* et de *plage*. Les deux termes semblent inviter à l'oisiveté, à la détente lascive, et les peintres hollandais seront les premiers à rendre compte des « scènes de plage », nouveau genre de la peinture hollandaise du Siècle d'Or pour décrire cette tendance des promenades en bord de mer (Knafou, 2000). Il est cependant intéressant de noter que les premiers peintres à avoir mis en scène la plage, tel Hendrick Cornelisz Vroom (1566 – 1640), attachaient en réalité de l'importance aux activités humaines qui s'y déroulaient, et non à l'environnement lui-même : « *la plage est alors un lieu où des populations laborieuses s'activent : pêcheurs débarquant leur poisson, femmes le réceptionnant et le transportant vers le village* » (Knafou, 2000, p. 5). Ce n'est qu'à partir du milieu du XVII^e siècle que les peintres mettront conjointement en scène population laborieuse et « *riches citadins venus en visiteurs de la ville voisine (...) pour jouir du paysage de la mer et des bateaux, source de la richesse du pays, ainsi que du travail des autres* ». Les promenades en bord de mer vont recouvrer une importance croissante, telle qu'à la fin du siècle, « *la plage [sera] passée du statut de lieu de production (...) à celui de promenade (...) où, visiblement il était bon de se faire voir autant que de voir* » (Knafou, 2000, p.5).

Le littoral inclut en réalité l'ensemble de ce vocabulaire et présente l'originalité de ne pas dissocier zone terrestre et zone marine, mais au contraire de les réunir (Bousquet, 1990 b). Les géographes ont été les premiers à employer la notion de littoral dans ce sens. Dans son traité de géographie physique, E. de Martonne le définit comme un domaine qui ne résulte « *pas seulement de la ligne idéale qui sépare sur les atlas et les cartes à petite échelle, la terre ferme de la mer... Sur le terrain, il apparaît clairement que le domaine littoral comprend tout ce qui, soit au-dessous, soit au-dessus du niveau moyen des eaux, est soumis à l'action des forces responsables du tracé du trait de côte* » (de Martonne, 1909, cité dans Houdart, 2003, p.3). Puis, la définition du littoral s'est progressivement élargie pour ne plus se restreindre au seul milieu physique qui n'est que son socle : le développement des activités économiques depuis l'Antiquité, puis des loisirs balnéaires depuis près de trois siècles¹, a conduit à un engouement tel que cet espace ne peut se concevoir aujourd'hui sans les aménagements et les dynamiques sociales qui s'y rapportent. Alain Miossec associe le littoral à « *une logique qui renvoie à la nature comme aux pratiques sociales* » (Miossec, 2004, p. 2). La dimension naturelle du littoral fait référence aux « *formes [littorales qui] doivent être appréhendées à travers la notion très féconde de budget sédimentaire. [...] Ces formes constituent l'armature d'un paysage que l'influence de la mer croisée avec la zonalité des climats habille de végétation* » (Miossec, 2004, p. 2). Cette entité physique peut alors recevoir différentes formes d'occupation sociale que l'auteur associe au littoral d'oekoumène.

La question de la définition précise du littoral serait donc liée au difficile exercice de son bornage. Jusqu'où s'étend le littoral en mer ? Jusqu'où est-il pertinent de le mentionner côté terre ? Pourtant, selon F. Péron, ces questions ne présentent finalement guère d'intérêt :

¹ Scarborough sur la côte nord-est de l'Angleterre a fait l'objet d'un guide bord de mer dès 1734 par exemple (Queffélec, 2012).

« dans le concret, c'est le mode d'approche retenu : géomorphologique, biogéographique, économique, sociologique... qui induit dans chaque cas la prise en compte d'une zone intérieure plus ou moins vaste, aux limites plus ou moins complexes » (Péron, 1997, p. 16). Ces différentes approches sont à l'origine de la multitude des définitions proposées : chaque discipline, chaque acteur, chaque usager du littoral, mais aussi chaque pays, selon son histoire, sa culture et sa pratique de cet espace entre terre et mer, donne sa définition du littoral, mettant en avant une caractéristique particulière. L'on comprend ainsi l'expression « à chacun son littoral ! » de Z. Massoud et R. Piboubès (Massoud *et al.*, 1994, p.11).

B. Autant de définitions que d'approches possibles

1. L'approche physique du littoral

Qu'ils soient géomorphologues ou biologistes, les scientifiques mettent en exergue le caractère original du littoral lié à l'influence réciproque des éléments terrestres, marins et aériens d'une part, et aux dynamiques spatiales et temporelles qui en résultent d'autre part. Pierre Georges et F. Verger l'associent à un « *domaine géomorphologique compris au sens strict entre les plus hautes et les plus basses mers, (...) en fait étendu à l'espace influencé par les forces marines agissant au contact du continent* » (Georges *et al.* 2004, p. 252). Les écologues subdivisent le littoral en trois zones : le mésolittoral, le supralittoral et l'infra-littoral (Houdart, 2003). Le système littoral ainsi divisé décrit « *l'ensemble des fonds marins (domaine benthique) du plateau continental, depuis le niveau le plus élevé, où peuvent vivre les espèces marines qui se contentent d'une humectation par les embruns ou d'immersions exceptionnelles, jusqu'à la profondeur limite correspondant aux possibilités de vie des algues multicellulaires les plus tolérantes* » (Péres *in* Encyclopédie Universalis, 2002, p. 746). Par ailleurs, F. Joly met en avant l'importance de l'échelle spatiale envisagée : « *réduit sur les cartes à petite échelle à une ligne sinueuse ou trait de côte, l'espace littoral se subdivise en réalité et à plus grande échelle en étages différenciés par leur altitude et par l'importance relative prise dans chacun d'eux par les agents géodynamiques terrestres ou marins* » (Joly, 1997, p. 279).

Le terme *littoral* existe bien dans la langue anglaise et est également apparu dans les encyclopédies en 1828, mais il possède un sens différent du *littoral* français. Très spécifique, il fait référence à une zone sableuse bordée par l'eau². Les Anglais n'emploient que très rarement le terme *littoral* et lui préfèrent le mot *coast*, à ne pas confondre avec la *côte* en français. Le terme *coast* recouvre en réalité la notion de *coastal zone* et de *coastal system* (Haslett, 2008). Cette précision confère d'emblée au mot *coast* une aire, une épaisseur et une dynamique qui exclut toute possibilité de restreindre la notion au simple trait de côte. Simon K. Haslett, identifie ainsi *the coast* à : « *l'aire entre la limite côté terre de l'influence marine et la limite côté mer de l'influence terrestre* »³ mettant en exergue là encore l'importance de l'influence réciproque des éléments marins et terrestres (Haslett, 2008, p. 3).

² « sandy area by body of water » dans l'encyclopédie Thesaurus : <http://thesaurus.com/browse/littoral>

³ « the area between the landward limit of marine influence and the seaward limit of terrestrial influence »

Sur le modèle anglais, la langue néerlandaise associe le *littoral* à *de kust* – également comprise comme une zone et un système. Toutefois, l’analyse de la bibliographie néerlandaise relative au littoral et à sa gestion montre que le mot *kust* lui-même n’est que peu employé. *Water* est beaucoup plus largement utilisé dans la littérature scientifique. Cette particularité s’explique par la lutte pluriséculaire du pays pour maîtriser les eaux et protéger les terres des inondations et submersions marines. Ainsi, dans son ouvrage *Water in the Netherlands*, P. Huisman justifie ce choix sémantique dès le synopsis : « *les contours actuels du pays résultent largement d’une lutte, montrant l’équilibre entre victoires et défaites. La vie aux Pays-Bas est directement reliée à l’eau* »⁴ (Huisman, 2006, p. 13). Si les géomorphologues néerlandais proposent de façon générale la même définition du littoral que leurs homologues français et anglais, la limite côté mer qu’ils attribuent à cet espace est précise et admise par l’ensemble de la communauté scientifique. Il s’agit des -20m de profondeur correspondant à une distance métrique variant selon la morphologie des fonds sous-marins, aussi appelés en anglais *closure-depth*. Au-delà de cette profondeur, le prélèvement de sédiments n’a en effet pas de conséquences sur l’équilibre dynamique de la zone côtière (Hallermeyer, 1981 in Dronkers, 2005). La limite terrestre quant à elle remonte jusqu’au point le plus haut des dunes qui peut être soumis à érosion lors de conditions extrêmes. Le littoral comprend aussi, selon les géographes physiciens et les géomorphologues néerlandais, les estuaires et les lagunes lorsque l’alternance d’accrétion et d’érosion sédimentaires est due à l’énergie de la houle (Dronkers, 2005).

2. L’approche économique du littoral

Jean-Jacques Bavoux insiste sur l’importance de l’aspect économique, lié aux activités humaines, que recouvre la définition du littoral : « *l’espace littoral est d’abord, évidemment, celui où se pratiquent les activités liées à la mer, laquelle est à la fois gisement halieutique et aire de circulation* » (Bavoux, 1997, p. 1). Mais comme le souligne J.-P. Corlay, si cette acception étend le littoral à une aire, « *sur les marges, l’utilisation du critère économique conduit à ignorer des zones floues, zones de transition pourtant perçues comme n’appartenant ni à la terre ni à la mer, mais au littoral* » (Corlay, 1995, p. 252). Ainsi l’approche économique se soustrait à l’exercice de la délimitation du littoral, et ne saurait être par conséquent tout à fait satisfaisante pour véritablement définir ce qu’est le littoral.

3. L’approche juridique du littoral

La construction juridique du littoral par les pays membres de l’Europe est laborieuse car elle s’est construite par le biais de lois sectorielles distinguant systématiquement l’espace terrestre de l’espace maritime, excluant ainsi une approche systémique cohérente, pourtant incontournable en terme de gestion et d’aménagement. En 1999, la Commission Européenne souligne ainsi que « *la côte a traditionnellement été considérée comme la frontière juridictionnelle entre les lois « terrestres » et les lois « maritimes » et [qu’] elle a rarement été reconnue comme une zone intégrée sur le plan des compétences juridiques* » (Commission

⁴ « *the present country is largely the result of this struggle, showing the balance of successes and failures. Life in the Netherlands is closely linked to water* »

Européenne, 1999, p. 36). L'évolution sémantique - de la *côte* à la *zone côtière* – par ailleurs soutenue par l'évolution des objectifs de gestion du littoral n'a pas été transposée dans le droit. Ce constat est vrai aujourd'hui encore pour les cas anglais et français. Seuls les Pays-Bas ont fait évoluer cette définition juridique.

a. Le cas français

Dans l'ouvrage *Le Droit du littoral et de la mer côtière*, J.-M. Becet et al. indiquent que les juristes « *ne perçoivent pas exactement (...) ce qu'est le littoral (...) dont le contenu varie selon la finalité qu'on lui assigne* » (Becet et al., 1991, p. 5). L'ajout de « la mer côtière » au mot littoral dans le titre de l'ouvrage souligne l'ambiguïté qui persiste autour de cette notion. Dix ans plus tard, M. Ghézali réaffirme ce flou juridique : « *plusieurs séries de textes jalonnent directement ou indirectement la construction juridique du littoral, sans pour autant définir un véritable statut de la zone côtière* » (Ghézali, 2001, in Lozacmeur 2004, p. 58). Si l'on part du principe que le littoral est une zone qui réunit espace terrestre et marin, on peut considérer qu'il n'existe pas, en France, de définition du littoral dans le domaine juridique. En effet, le Domaine Public Maritime, qui s'appuie sur l'ordonnance de la marine de Colbert, précise que « sera réputé bord et rivage de mer tout ce qu'elle couvre et découvre pendant les nouvelles et pleines lunes, et jusqu'où le grand flot de mars se peut étendre sur les grèves » (article 1^{er} du titre VII du livre IV de l'ordonnance d'août 1681⁵). Cette ordonnance a, par la suite, été élargie 1/ au sol et au sous-sol de la mer, compris entre la limite haute du rivage (c'est-à-dire celles des plus hautes mers en l'absence de perturbations météorologiques exceptionnelles) et la limite, côté large, des 12 milles nautiques, 2/ aux étangs salés en communication directe, naturelle et permanente avec la mer et 3/ aux lais (parcelles dont la mer s'est définitivement retirée) et aux relais (dépôts alluvionnaires) de mer. La bande terrestre est donc exclue de cette délimitation. Au contraire, l'article 1^{er} de la loi Littoral du 3 janvier 1986 associe ce dernier à « une entité géographique qui appelle une politique spécifique d'aménagement, de protection et de mise en valeur » dont les limites administratives correspondent aux communes bordières. Là encore ne figure qu'une des deux faces du littoral, et la loi ignore sa partie immergée. Seule l'aire de juridiction des communes riveraines du littoral comprend les communes elles-mêmes et s'étend jusqu'à 300 mètres au large. Mais cette limite marine est arbitraire et ne tient pas compte par exemple du milieu physique présent et de sa dynamique. Finalement, l'article 57 de la loi n°83-8 du 7 janvier 1983 relative à l'application de Schémas de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) est le seul faisant l'effort de réunir partie terrestre et maritime (Lozacmeur, 2004) et intégrant activités anthropiques et mesures de protection des milieux « naturels ». En effet, les SMVM « fixent les orientations fondamentales de l'aménagement, de la protection et de la mise en valeur de la mer. À cet effet, ils déterminent la vocation générale des différentes zones et notamment les zones affectées au développement industriel et portuaire, aux cultures marines et aux activités de loisirs. Ils précisent les mesures de protection du milieu marin ». Mais là encore, l'effort de délimitation n'est pas abouti.

5 consultable sur le site du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Un-peu-d-histoire,12931.html>

Pourtant, dès les années 1970, les aménageurs, pressés par l'essor du tourisme balnéaire, se sont penchés sur cette question de la délimitation du littoral. Ainsi le rapport Piquard envisage pour la première fois le littoral comme une zone allant de la mer côtière à l'arrière-pays (Miossec, 2009). Trois approches sont recommandées pour le définir. Une approche quantitative, fondée sur la longueur des côtes, une approche qualitative relative à l'espace vécu : « *succession de sites dont chacun a une personnalité, (et qui) suscite l'admiration chez qui le découvre, l'attachement passionné chez qui le connaît* » (rapport Piquard, 1973, in Miossec, 2009, p. 168). Enfin, l'approche « géométrique » définit sans véritablement les délimiter les zones étendues de part et d'autre de la ligne de contact entre la terre et la mer. Le rapport insiste également sur les multiples usages permis par ce territoire original et convoité : « *de part et d'autre de cette ligne, les modes d'utilisation de l'espace sont totalement différents. Il en résulte que chaque fonction ou activité, aussi bien terrestre que maritime, ne dispose sur le littoral que d'une fraction de l'espace dont elle pourrait disposer ailleurs...* » (rapport Piquard, 1973, in Miossec, 2009, p. 169). Vingt-deux ans plus tard, le rapport Bonnot précise que les limites du littoral vont des eaux territoriales côté mer (12 milles marins) aux « *bassins de vie en relation avec la mer* » (Bonnot, 1995, in Miossec, 2009, p. 169). Cette extension spatiale montre l'évolution des problématiques de gestion du littoral, en particulier de gestion dite « intégrée » du littoral et la nécessité de rompre la sectorisation des activités et des formes de protection de ce territoire.

b. Le cas anglais

La législation anglaise relative à la définition de *the coast* se heurte au même flou juridique qu'en France. Comme le mentionne *The Coastal Handbook*, guide destiné à tous ceux qui travaillent sur le littoral⁶, publié en 2010, la délimitation de la zone côtière repose sur *The Coastal Protection Act* datant de 1949. Or, à cette époque, il n'était guère question de zone côtière et le mot *coast* n'était d'ailleurs employé que sous sa forme adjectivée (*coastal protection*) ou encore remplacé par *the sea* ou *the seashore*. C'est d'ailleurs ces deux termes qui sont retenus pour définir le littoral anglais : « *la mer inclut les eaux de tous les chenaux, baies et estuaires et de toutes les rivières influencées par la marée* » et « *le bord de mer correspond au lit et aux rives de la mer, à tous les chenaux, baies et estuaires et à toutes les rivières aussi loin que la marée remonte, mais aussi aux falaises, bancs de sable, dunes et plages ou tout autre terre proche du rivage* »⁷ (*The Coastal Protection Act*, 1949, p. 47). Une fois encore, cette tentative de définition ne se plie pas à l'exercice difficile de la délimitation de la zone côtière et ne saurait par conséquent être tout à fait satisfaisante. Depuis lors, les chercheurs anglais se sont attachés à définir *the coastline*, équivalent du zéro hydrographique français des cartes topographiques : « *la référence la plus largement acceptée est certainement la marée moyenne de basses eaux mesurée au printemps* »⁸ (Aurrocochea et al., 1986, p. 41). Cette définition est reprise dans un rapport de la Commission Européenne de

6 Environment Agency, 2010, *The Coastal Handbook, a guide for all those working on the coast*, 220 p.

7 « *sea includes the waters of any channel, creek, bay or estuary and of any river so far up that river as the tide flows* » et « *seashore means the bed and the shore of the sea, and of every channel, creek, bay or estuary and of every river as far up that river as the tide flows, or any cliff, bank, barrier, dune, beach, flat or other land adjacent to the shore* »

8 « *the most widely accepted reference line would be the Mean Low-Water Spring Tide mark* »

1999 pour décrire la zone de compétence des pouvoirs locaux anglais : « [elle] constitue [...] la limite côté « mer » du domaine de contrôle de l'aménagement » (Commission Européenne, 1999, p. 36). Mais de nouveau, ces délimitations sont beaucoup trop restreintes pour être utilisables par les aménageurs qui doivent relier dynamiques naturelles, activités anthropiques et protection des milieux.

c. Le cas néerlandais

Aux Pays-Bas, le Ministère des travaux publics et de la gestion de l'eau ainsi que le VROM (ministère de l'urbanisme, du logement, de la planification et de l'environnement) ont défini le littoral – ou *de kust* – du point de vue légal dans le rapport de 2007 « Beleidslijn kust »⁹. La limite marine du littoral correspond à la définition donnée par les géographes néerlandais, soit l'isobathe des moins 20 mètres associé à la profondeur de fermeture du système littoral. Sa limite terrestre comprend les dunes et les ouvrages dits « durs » de protection contre la mer tels les digues et les barrages. Elle s'étend par ailleurs à l'espace requis nécessaire au renforcement futur des digues, en tenant compte de l'élévation du niveau marin pour les deux cents prochaines années. Enfin, y sont ajoutées les zones de protection de l'environnement (NATURA 2000, aires définies par les directives Habitat et Oiseaux etc.), recoupant les parties terrestres et marines de la zone côtière précédemment définie. Bien que cette définition soit relativement stricte (la limite marine du littoral est par exemple très proche du trait de côte en Hollande septentrionale au regard de la bathymétrie abrupte de l'avant littoral), elle présente un triple intérêt. D'une part elle y associe d'emblée la partie marine et la partie terrestre. D'autre part elle est établie en tenant compte de la réalité du milieu physique, ce qui, nous le verrons, en fait une définition pratique, directement applicable par les aménageurs. Enfin, elle intègre de façon très concrète les politiques de protection de l'environnement, évitant ainsi l'écueil d'une superposition de zones aux juridictions multiples et non coordonnées. Le cas néerlandais propose donc la définition la plus complète mais aussi la plus pratique et directement applicable pour les aménageurs et responsables de la protection côtière.

9 Politique côtière

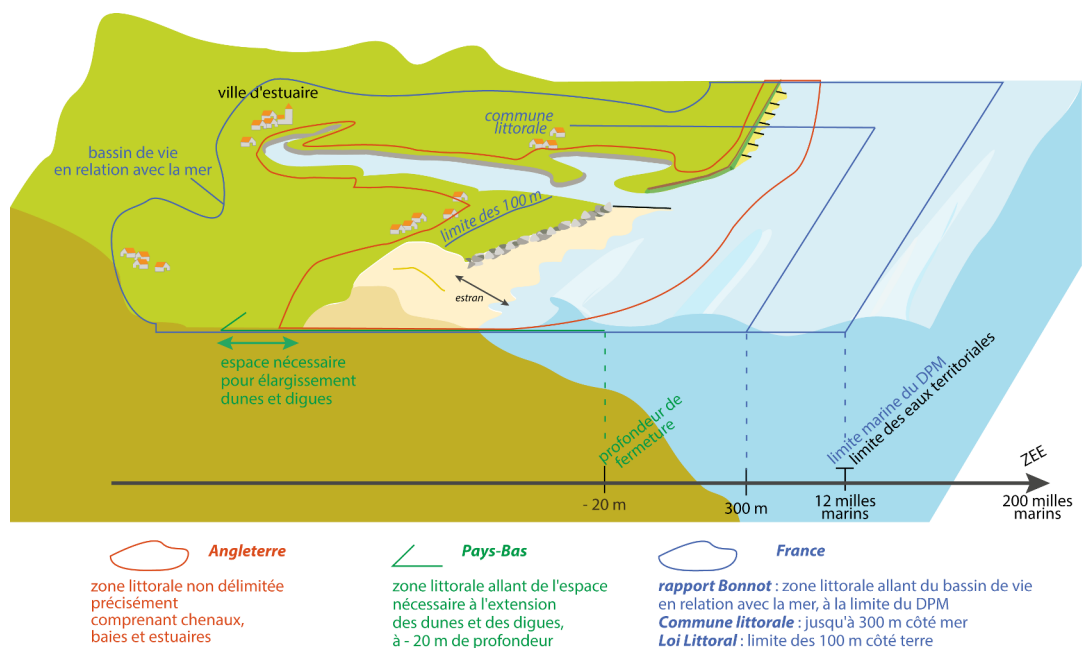


Figure 0 : Bloc diagramme présentant la synthèse des différentes limites attribuées au littoral.
Réalisation : S. Gueben-Venière, 2014

La figure 0 met en valeur la complexité de la délimitation du littoral. En Angleterre, le littoral comprend une partie terrestre et une partie marine, mais leurs limites ne sont pas clairement identifiées. En France, plusieurs textes majeurs (loi Littoral : 1986, rapport Bonnot : 1995) ainsi que la délimitation des communes littorales multiplient les délimitations possibles du littoral. Seuls les Néerlandais offrent une délimitation précise de ce qu'ils associent au littoral : côté mer elle s'étend jusqu'au -20 m de profondeur ; côté terre la zone comprend l'espace requis nécessaire à l'extension des dunes et des digues, c'est-à-dire une demi largeur de dune et une largeur de digue¹⁰. En effet, lorsque les digues doivent être rehaussées, elles doivent nécessairement être élargies. De même, le caractère dynamique et mobile des dunes nécessite un espace suffisant à l'arrière pour permettre cette mobilité. Cette définition est à la fois précise et pragmatique.

C. La contribution des géographes à la définition du littoral

1. Une unanimité ponctuée de nuances liées au cadre de recherche

La discipline géographique, par sa méthode et ses problématiques, fait l'effort d'une définition du littoral la plus complète possible, dépassant le clivage historique entre géographie physique et géographie humaine. André Guilcher, éminent naturaliste, n'a jamais exclu de ses recherches en géographie physique du littoral la prise en compte de l'aspect humain, incontournable dans l'aménagement et la gestion du littoral. Ceci l'a d'ailleurs

¹⁰ source : entretiens menés aux Pays-Bas.

conduit à rédiger un article intitulé « Vers une philosophie des rivages » mettant en avant la nécessité d'une réflexion à l'échelle locale intégrant les intérêts socio-économiques présents et à venir : « *La philosophie des rivages à laquelle je suggère que l'on parvienne devrait être une philosophie du coup par coup. (...) il convient de prendre des décisions conformes aux situations particulières, après études minutieuse et sérieuse de chacune de celles-ci, incluant la considération de l'évolution sur la plus longue durée possible, les intérêts économiques en cause, la prise en compte de l'intérêt offert par les faits de nature* » (Guilcher, 1990, p. 12). C'est dans cet esprit de mutualisation des connaissances et parce que la géographie du littoral, caractérisée par la complexité de son objet d'étude, requiert un travail d'équipe, qu'A. Guilcher a fondé et dirigé dès 1954 la revue *Norois*. Dans cette même revue, J.P. Corlay y défend une géographie sociale du littoral en précisant que « *la géographie du littoral dans sa globalité peut (doit ?) donc être entreprise selon une démarche de géographie sociale mais une géographie sociale adaptée qui prend en compte la dynamique société-nature* » (Corlay, 1995, p. 263). Selon l'auteur, l'évolution « *du milieu littoral est autant un déterminé de la relation société-nature qu'un déterminant* » (Corlay, 1995, p. 262).

Bien évidemment il existe toutefois quelques nuances liées à la définition du cadre de recherche. Dans un article traitant de l'évaluation de la population littorale dans le monde, D. Noin considère que la bande des 15 km est judicieuse, car « *elle correspond fréquemment à la portée des navettes pour les actifs travaillant dans les activités liées à la mer. Elle correspond aussi plus ou moins à la distance qu'acceptent de parcourir les estivants aux moyens modestes pour se loger à plus faibles prix dans les hôtels, pensions ou maisons louées dans l'arrière-pays des stations balnéaires* » (Noin, 1999, p.66). Mais d'une façon générale, les géographes s'accordent à dire que le littoral doit être envisagé comme un système dynamique. Bernard Bousquet décompose ce système en trois éléments : le littoral de Nature, le littoral d'Oekoumène et le littoral d'Institution. Le premier correspond à la zone soumise à l'action de la mer à l'intérieur du géosystème (sensible à la fois aux variations météorologiques locales et à l'échelle de la planète) ; le second résulte de l'appropriation par le monde habité de l'espace littoral (trait de côte, estran, arrière-pays, supra-littoral). Il fait intervenir trois acteurs principaux : le naturaliste ou le scientifique, dont le rôle est de comprendre la mobilité d'évolution du milieu grâce à sa méthode scientifique mise au service de la restauration des milieux ; le politique chargé de mettre en œuvre des interventions de protection, et l'ingénieur, dont l'intervention géotechnique consiste à établir la défense des sites grâce à des équipements appropriés. Enfin le littoral d'institution, dont les limites résultent de divisions administratives issues des textes réglementaires et législatifs (Bousquet, 1990). Jean-Pierre Corlay décompose ce système dynamique en un écosystème défini comme un milieu aux potentialités diverses et aux fortes contraintes physiques, et en un sociosystème combinant plusieurs facteurs relevant de la société (Corlay, 1995). L'auteur associe l'espace littoral à un « *espace à géométrie variable* », « *dont la spécificité résulte de modes d'occupation et d'organisation générés par l'interface terre-mer et qui est vécu et perçu différemment selon les groupes sociaux qui le fréquentent. L'ampleur, « l'épaisseur » de cet espace sont relatives au temps, aux lieux et aux sociétés* » (Corlay, 1995, p. 11)

2. L'indispensable prise en compte de critères « subjectifs »

Il se dégage des définitions proposées par les géographes que le littoral relève non seulement de critères « objectifs » (physiques, socio-économiques et légaux) mais aussi de dimensions subjectives incontournables, caractérisées par un paysage littoral, une « ambiance » côtière (Bavoux, 1997) et incluant par conséquent des perceptions (propres à chaque individu) et des représentations sociales (partagées par un groupe socio-professionnel tel les pêcheurs, les aménageurs ou les géographes). L'« ambiance » littorale fait effectivement appel aux sens : au ressenti du doux climat marin et océanique, du changement de lumière que les peintres se sont efforcés de capter par la couleur et la texture, des fragrances caractéristiques, du bruit du vent et des vagues, du goût des embruns salés... Tout ceci constitue « un ensemble qui fait que l'on sait que l'on se trouve près du littoral » (Desdoigts, 2002, p. 161). Le paysage marin et littoral est également le reflet de représentations sociales, et, selon J.-P. Pinot, « *supporte trois regards bien différents : le paysage des géographes qui exprime le fonctionnement du monde, le paysage des artistes qui en fait ressortir l'instabilité (la fureur ou la tranquillité) en forçant le trait, le paysage des paysagistes, qui change l'apparence de la réalité pour lui faire exprimer autre chose que ce qu'elle est* » (Pinot, 2002, p. 29).

Ainsi, le littoral des géographes est appréhendé selon cinq principaux champs de recherche, contribuant à le définir de façon complexe et dynamique : 1/ un effort de définition du littoral qui revient à poser la question de ses limites spatiales, 2/ l'étude des acteurs sociaux, 3/ l'étude des pratiques et des comportements, 4/ des projets et des stratégies d'action, 5/ enfin l'étude de la géohistoire des littoraux (Corlay, 1995).

D. Définition retenue dans cette étude
--

L'un des objectifs de cette étude est de comprendre comment les ingénieurs se représentent le littoral qu'ils aménagent. Pour ce faire leur réponse sera comparée à celle d'autres scientifiques (écologues, géographes, juristes, économistes etc). Par conséquent la définition retenue *a priori* pour le littoral doit être suffisamment large pour accepter l'ensemble des réponses attendues. C'est pourquoi le littoral sera considéré ici comme un système dynamique complexe se nourrissant d'interactions multiples (physiques, économiques, sociales, environnementales, etc.) sans cesse renouvelées. De même la dimension immatérielle du littoral, liée aux sensations qu'il procure mais aussi aux références culturelles et historiques auxquelles il fait appel, est également intégrée à cette définition.

En termes de délimitations, cette définition large rend les choses difficiles. Plutôt que de tenter de définir une limite terrestre et une limite marine, c'est l'ensemble des limites exposées dans la figure 1 qui seront considérées, permettant ainsi de passer d'une échelle scalaire à l'autre pour avoir à la fois une vision d'ensemble et des appréciations plus détaillées.

II. La « gestion du littoral » : importance des termes employés et des échelles de réflexion

Gestion, aménagement, équipement : trois termes prêtant parfois à confusion et n'ayant pas toujours le même sens selon qu'un ingénieur, un décideur politique ou un géographe les emploie. L'aménagement du littoral ne saurait se confondre avec l'équipement de la ligne de rivage. Un bref éclaircissement du sens affecté à ces trois notions, ainsi qu'une réflexion sur l'échelle territoriale qu'elles recouvrent respectivement, s'impose.

A. L' « aménagement du littoral » : échelle nationale et décision politique

L'aménagement est défini par M. Lussault et S. Thibault comme « l'ensemble des savoirs et des savoir-faire dont la construction et l'application servent à transformer et adapter volontairement des espaces [...] de types variés au bénéfice des sociétés qui les produisent et les occupent » (Lussault *et al.*, in Lévy & Lussault 2003, p. 61). Ainsi, les assèchements et conquêtes de terres sur la mer réalisées dans l'Anse de l'Aiguillon-sur-Mer depuis 1655 par exemple, relève de l'aménagement (Verger, 2009). Depuis le XIX^e siècle, le corps des Ponts et Chaussées a progressivement pris en charge les formes d'aménagement de l'espace en le rationalisant de plus en plus (Miossec, 1993).

Cette notion a ensuite été complétée par celle d' « aménagement du territoire » qui suppose une échelle de réflexion et de mise en œuvre nationale, tout comme un acteur principal : l'État « central » (Lévy, in Lévy & Lussault, 2003, p. 67). Selon O. Guichard, le XIX^e siècle, siècle des grands bouleversements techniques et de la planification des réseaux de communication sur l'ensemble du territoire français, ne serait pourtant pas celui de l'aménagement du territoire mais seulement une parenthèse, en ce sens que « *bousculer la nature sans l'organiser* » relève du « *défi permanent de l'homme face à la nature* » et non de l'aménagement du territoire (Guichard, 1965, p. 16). Cette notion n'a réellement pris tout son sens selon l'auteur, que dans les années 1950, sous le mandat de C. Petit, ministre de la Reconstruction. La nécessité d'établir un plan de développement concerté à l'échelle nationale a été également affirmée par J.-F. Gravier. Ce sont tous les grands domaines de l'économie, qui doivent être redistribués selon le géographe, pour aboutir à une « *répartition optima du peuplement et des activités* » (Gravier, 1947). Le plan Racine mis en œuvre dans les années 1960 sur le littoral languedocien relève par exemple de l'aménagement du territoire. Il s'agissait pour l'État central d'organiser l'espace littoral pour répondre à la demande touristique croissante et en maximiser les bénéfices économiques. Ainsi, selon A. Miossec, aménager le territoire relève de l'idée, de la façon d'organiser l'espace par des mesures concertées et nécessite par conséquent une volonté politique déployée à l'échelle nationale (Miossec, 1993).

B. La « gestion du littoral » : décision concertée de l'échelle régionale à l'échelle locale

Le dictionnaire Larousse définit la gestion comme « *l'action ou la manière de gérer, d'administrer, de gouverner, de diriger, d'organiser quelque chose* ». La gestion relève de l'art du gouvernement et de l'administration d'une part, elle est le résultat de l'action voulue et du processus de mise en œuvre de cette action, d'autre part. En somme, elle est la traduction pratique sur le terrain de l'aménagement décidé. L'échelle de réflexion et de mise en œuvre de la gestion est plurielle et plus restreinte que celle de l'aménagement puisque l'ensemble des acteurs impliqués dans la gestion du littoral s'étend généralement de la région au site. La gestion du littoral relève donc de la mise en pratique d'une décision concertée entre les acteurs principaux du territoire (la région, le département, la communauté de communes, la commune), ayant de plus en plus fait l'objet d'une consultation auprès de la population locale et des usagers du site. Le résultat de cette mise en œuvre est « *d'obtenir une meilleure adéquation entre le milieu naturel et le milieu souhaité par les usagers* » (Pinot, 2002, p. 33). Cette préoccupation des sociétés développées pour le milieu naturel est nouvelle et ne date que de la fin du XX^e siècle (Miossec, 1993). Par conséquent, l'on peut avancer que le littoral français ne fait l'objet d'une véritable gestion que depuis peu. Avant cela, il semblerait qu'il n'y ait pas eu de réel intermédiaire entre l'aménagement, c'est-à-dire l'idée d'organiser l'espace à l'échelle nationale, et l'équipement. La mise en œuvre pratique de la volonté politique ne faisait pas l'objet d'une réflexion particulière, notamment sur les fonctionnements des littoraux, et le but d'aménagement du littoral a été pendant longtemps de réduire les inconvénients de son instabilité par l'implantation d'ouvrages divers de maintien du trait de côte.

C. L' « équipement du littoral » : échelle locale et décision technique

L'équipement correspond à « *l'installation qui sert à produire, à échanger, à assurer des fonctions de la vie sociale* » (Brunet, 1993, p. 190). Dernier maillon d'application de l'aménagement et de la gestion du littoral, l'équipement relève de l'échelle ultra-locale, celle de l'ouvrage lui-même, et de la décision technique. Son dimensionnement et son positionnement sont traditionnellement définis par les ingénieurs. La réalisation d'un équipement concernant le littoral vise généralement à fixer le trait de côte de façon à maintenir les fonctions de la vie sociale locale. Toutefois, les conséquences de l'implantation d'un ouvrage d'équipement peuvent dépasser l'échelle locale et atteindre une échelle régionale voire interrégionale. C'est le cas par exemple de l'équipement de la centrale nucléaire de Penly, sur les côtes de Haute-Normandie, qui crée un barrage à la circulation naturelle des galets vers le nord et participe de l'érosion du cordon de galets des Bas-Champs picards.

	AMÉNAGEMENT (Stratégie)	GESTION (Mise en œuvre)	ÉQUIPEMENT (Opération)
Echelle	nationale	régionale	locale et ultra-locale
Qualité principale de la décision	Décision politique	Décision concertée	Décision technique
Principale question posée	Que voulons-nous faire du littoral ?	Comment mettre en œuvre les décisions nationales ?	Quels moyens techniques mobiliser ?

Tableau 2 : Articulation de l'aménagement, de la gestion et de l'équipement du littoral
Source : d'après Mulder et al., 2010 ; Miossec, 1993.

En somme la gestion actuelle du littoral s'inspire de la directive européenne GIZC et des orientations formulées par la politique nationale d'aménagement pour permettre de choisir les décisions techniques relevant de l'équipement, qui s'effectue à l'échelle locale. Toutefois, les termes de gestion et d'aménagement tendent à se confondre. Ainsi, le gouvernement français a lancé en 2012 la « Stratégie nationale de gestion du trait de côte » alors que l'échelle nationale mentionnée aurait plutôt dû faire référence à une « stratégie nationale d'aménagement du littoral ». L'évolution du vocabulaire choisi montre certainement la volonté du gouvernement de rompre définitivement avec les grandes politiques d'aménagement du littoral des années 1960 (telle la Mission Racine) critiquées à plusieurs égards. Enfin, cette « confusion » des termes peut également résulter d'une influence de la langue anglaise qui regroupe aménagement et gestion sous le vocable *management* (Miossec, 1993). De même aux Pays-Bas, le mot *beheer* désigne aussi bien la *gestion* que *l'aménagement*. Toutefois, pour exprimer l'échelle nationale propre à la notion d'aménagement du territoire, c'est le mot *strategie* qui est alors préféré.

III. L'implication ou le « rôle » des ingénieurs

Après avoir exposé les grands traits de l'identité complexe du littoral, il convient d'expliquer plus en détails comment s'est construite au fil des siècles la figure de l'ingénieur, à l'origine de l'équipement progressif du littoral, et comment l'évolution de son rôle au sein de la société a participé à la structuration de cette profession.

A. La notion de « rôle », appliquée à l'ingénieur

1. Bref historique du concept de rôle.

La notion de *rôle* est une notion complexe aux sens multiples, si bien qu'il n'existe pas aujourd'hui de définition univoque (Rocheblaye, 1963). Le mot *rôle* vient du latin médiéval *rotulus* ou « rouleau de parchemin ». Le *rôle* s'apparente d'abord à une liste à lire, un texte à jouer (Encyclopédie Universalis, 2002). Par extension, il a été employé pour désigner une fonction sociale, une profession. Les sociologues, anthropologues et psychologues se sont ensuite emparés du concept de *rôle* dès la première moitié du XX^e siècle (Rocheblaye, 1963). Entre les années 1930 et 1960, le *rôle* fait référence à « une notion intermédiaire entre celle

de l'individu et de la société » (Nadel, 1957, in Coenen-Huther, 2005, p. 66). Deux échelles de réflexion se distinguent alors - l'échelle de l'individu et l'échelle du groupe social – faisant émerger deux orientations théoriques : l'orientation interactionniste et l'orientation structurelle. La première, défendue par G. H. Mead, associe le rôle à « *l'élément-clé de la dialectique entre le Soi et son environnement* » (Coenen-Huther, 2005, p. 66). La seconde orientation, issue des travaux de l'anthropologue Linton, introduit une dimension verticale en rattachant la notion de rôle à celle de statut (Encyclopédie Universalis, 2002). Linton définit ainsi le rôle comme « *l'aspect dynamique du statut* », c'est-à-dire l'aspect dynamique d'une position au sein d'une structure sociale. Selon l'anthropologue, « *un individu remplit un rôle quand il met en œuvre les droits et les devoirs qui constituent le statut* » (Linton, 1936, in Coenen-Huther, 2005, p. 67). Autrement dit, « *ce qui donne au rôle son caractère de modèle impératif, de contrainte, est l'accord des membres de la société dans ce qu'ils attendent d'un individu placé dans une certaine position* » (Encyclopédie Universalis, 2002, p. 47). Cette orientation structurelle, bien que reprise et retravaillée tout au long du XX^e siècle, a marqué l'historique du concept de rôle au point que ce dernier partage bien souvent une entrée commune avec la notion de statut dans les dictionnaires encyclopédiques. Reste que de nombreuses ambiguïtés persistent, principalement liées à la perspective envisagée, sociale ou individuelle : « *le rôle appartient-il à la société ou à l'individu ? Représente-t-il un modèle social extérieur correspondant à une fonction du groupe ou bien un ensemble de conduites individuelles pouvant être appréhendées sous la notion de « personnage » ?* » (Rocheblaye, 1963, p. 303). Toutefois, la plupart des théoriciens du rôle s'accordent à l'envisager comme une notion à la frontière de la sociologie, de la psychologie et de la psychologie sociale. Le niveau sociologique interroge le *modèle*, étroitement lié au statut ; le niveau psychologique se penche sur la *personnalité* qui occupe les différents statuts, qui perçoit et joue les divers rôles ; le niveau psychosocial s'intéresse aux *interactions* concrètes des rôles, modèles relativement stables d'action, et des déterminants personnels multiples, changeant au gré des situations réelles (Encyclopédie Universalis, 2002).

Par conséquent, pour analyser le rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral, il sera nécessaire d'analyser, d'une part, les facteurs qui conditionnent la façon dont un ingénieur – à l'échelle de l'individu - perçoit sa mission, sa profession, au sein du processus décisionnel, et d'autre part, le rôle de ce groupe dans le processus décisionnel validant une solution de gestion parmi d'autres. Cette seconde analyse recouvre une double dimension horizontale et verticale. La dimension horizontale concerne le rôle des ingénieurs par rapport à d'autres acteurs de la gestion du littoral intervenant à un même niveau décisionnel. La dimension verticale permet une comparaison du rôle des ingénieurs selon leur échelle d'intervention, de l'échelle nationale jusqu'à l'échelle départementale, voire locale pour les grandes communes. Le cadre théorique de l'analyse du rôle des ingénieurs, décrit ci-dessus, doit être complété par un cadre méthodologique faisant ressortir les différents facteurs expliquant le positionnement des ingénieurs au sein des décideurs.

2. Le positionnement de l'ingénieur au sein des décideurs

Selon J. Perrin, la façon dont un ingénieur envisage sa mission, sa profession et les diverses solutions qu'il examine dans la conception d'un projet, dépend principalement de la manière dont sont produites les connaissances des sciences de l'ingénieur ou sciences technologiques (Perrin, 1995). L'auteur définit les sciences de l'ingénieur comme « *l'action de concevoir un nouvel objet technique pour atteindre un effet ou un objectif spécifique qui engendre le processus de transformation et de production des connaissances techniques* » (Perrin, 1995, p. 585). L'atteinte de cet objectif est également liée à une contrainte économique, dont l'ingénieur doit nécessairement tenir compte dans son travail. C'est d'ailleurs par ce biais que l'historien E. Layton différencie l'ingénieur du scientifique : « *le travail de l'ingénieur se distingue de celui du scientifique par ses impacts, mais aussi par la façon dont s'exerce sur lui la contrainte économique* » (Layton, 1986, in Didier, 2008, p. 163). Par ailleurs, un troisième facteur d'ordre politique conditionne fortement le rôle des ingénieurs. C'est ainsi que l'adoption du *Plan Dignes* (rebaptisé ensuite *Plan national Submersions Rapides*) au lendemain de la tempête Xynthia a été perçue par plusieurs ingénieurs rencontrés comme une « commande politique » qu'il fallait exécuter quelles qu'en soient les conséquences et l'adéquation avec la *Stratégie nationale de gestion du trait de côte*. Cette stratégie n'a été publiée qu'en février 2012, mais avait été précédée d'un ouvrage commandé par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, favorisant largement l'acceptation d'un recul maîtrisé du trait de côte¹¹.

Pour mieux comprendre le poids de ce facteur étatique, il est nécessaire à présent de se pencher plus avant sur les objectifs de formation des ingénieurs français et leur évolution depuis le XVII^e siècle, siècle au cours duquel naissent les premiers Corps de l'État.

B. De l'« engigneur » aux objectifs de formation de l'ingénieur civil, ou le rôle social de l'ingénieur.

1. Émergence de la figure de l'ingénieur, ou « l'homme de la machine » et « l'inventeur individuel »

Le mot *ingénieur* provient du vieux français « engigneur » (mot dérivant lui-même de *engin* « machine de guerre ») qui désignait des individus ayant la capacité de concevoir et de construire des engins de guerre (Laffont, 2006). Au XII^e siècle, les ingénieurs s'apparentaient à des officiers spécialisés, lors des sièges, dans la « science » des engins de guerre, science enseignée de façon empirique et guidée par un maître (Gourisse, 1999). C'est ainsi que le sociologue A. Moutet qualifie l'ingénieur de l'époque « *d'homme de la machine* » (Thépot, 1986, p. 237). Puis la définition attribuée à l'ingénieur faisait référence à « *celui qui invente, qui trace et qui conduit des travaux et des ouvrages pour attaquer, défendre ou fortifier des places* » (Dictionnaire Robert, 2009, p. 1331). L'essor artistique et intellectuel de la Renaissance a permis une évolution remarquable de *l'engigneur*, contribuant à faire émerger la figure de l'ingénieur. Ce dernier est non seulement un scientifique, mais aussi un artiste et

¹¹ MEEDM, 2010, *La gestion du trait de côte*, Éditions Quae, Versailles, 290 p.

un savant ; en somme, « *c'est un expert dans tous les domaines techniques connus (...) [un] homme résolument moderne [qui] n'est pas homme de corporations* » (Gourisse, 1999, p. 1). Henri Lasserre associe alors l'ingénieur à un « *inventeur individuel* » (Thépot, 1986, p. 239). Léonard de Vinci en est l'exemple illustre.

L'ingénieur de l'époque appartient à une élite dont la formation s'accomplit principalement par les livres. Il perfectionne ainsi les machines à l'aide du dessin, mais aussi des mathématiques et de la géométrie (Lasserre, 1987). Durant la seconde moitié du XVII^e siècle, l'acquisition des connaissances mathématiques s'opérait de deux façons différentes. L'élite recevait pendant deux à trois ans une formation poussée chez les Jésuites. Ces études longues mais gratuites mêlaient algèbre et géométrie, mais aussi mathématiques appliquées telles la perspective, l'optique, l'hydraulique, l'architecture, la navigation etc., complétées par des exercices pratiques hebdomadaires. Une large part du programme était tournée vers l'art de la guerre. Cependant, la méthode d'apprentissage la plus courante restait la formation « sur le tas » guidée par un parent ou un ancien apprenti (Bousquet-Bressolier, 2003). Vauban, ingénieur militaire de Louis XIV, se plaint d'ailleurs de l'inégale qualité des ingénieurs. Il demande ainsi qu'un examen soit imposé pour évaluer le niveau de formation des futurs ingénieurs, et qu'une école soit créée sur le principe du mérite et non de l'origine sociale des élèves. De la nécessité d'identifier les frontières précises du royaume afin de mieux le défendre, a émergé le besoin d'améliorer les voies de communication en constituant un véritable réseau de routes et de canaux, efficaces et rentables. Pour ce faire, Vauban crée en 1676 le Corps des ingénieurs d'État, outil de rationalisation du savoir et du savoir-faire des ingénieurs. Ceci confèrera à l'État le monopole de la formation des ingénieurs français de la fin du XVII^e siècle au milieu du XIX^e siècle (Virol, 2008).

2. De l'ingénieur d'État à l'ingénieur civil

En 1716 est créé le Corps des ingénieurs des Ponts et Chaussées. Cette démarche montre le souci à l'époque de planifier et d'unifier à l'échelle nationale la construction des routes et des canaux relevant autrefois de la compétence des seigneurs, associations de marchands et ordres monastiques. En 1747 J.-R. Perronet¹² prend la direction de la nouvelle École des Ponts et Chaussées. La particularité de cette dernière tient au nombre très restreint d'ingénieurs formés (une cinquantaine), à l'absence de professeurs remplacés par l'auto-enseignement (les élèves les plus savants transmettant leurs connaissances aux nouvelles recrues), et à une formation pratique assez poussée. La durée des études était très variable, allant de quatre à quatorze ans (Goujon *et al.*, 2007) ! Les ingénieurs issus de l'École des Ponts et Chaussées endossaient une responsabilité à la fois technique et administrative. Leur très petit nombre faisait d'eux une élite respectée et leur conférait une grande autorité qui se traduisait de façon pratique par un monopole puissant sur les décisions d'aménagement du royaume. En effet, ces ingénieurs d'État usaient de leur droit de veto pour approuver ou refuser tout projet en lien avec l'ingénierie. Leur autorité bien assise et leur faible nombre ont contribué à cultiver, en France, la forte considération de cette catégorie de hauts fonctionnaires et, à l'époque, la supériorité de leur activité par rapport aux professions

¹² Architecte puis ingénieur, premier directeur de l'École Nationale des Ponts et Chaussées

libérales, « réduites » à tirer profit de leur savoir. La noblesse des ingénieurs d'État tenait justement au fait qu'ils étaient avant tout au service de l'intérêt général. L'appât du gain était alors considéré dans la fonction publique comme socialement dégradante. Les ingénieurs d'État avaient donc la capacité de comprendre les phénomènes de la nature et par conséquent d'améliorer la condition matérielle humaine. Leur grande instruction les plaçait au-dessus du commun des mortels et leur conférait le devoir - assimilé en fait au pouvoir - d'appliquer ces connaissances aux situations les plus concrètes (Shinn, 1978).

Après 1789, la formation des ingénieurs est réorganisée et leur recrutement passe désormais par l'École Polytechnique, dont l'entrée se fait sur concours et non plus uniquement en lien avec l'origine sociale des élèves. Les anciennes Écoles, dont Les Ponts et Chaussées et l'École des Mines fondée en 1783, deviennent des écoles d'application (Grelon, 2011). Le principe de méritocratie et la difficulté du concours d'entrée à l'École Polytechnique, font des ingénieurs français le symbole de la réussite sociale et professionnelle par excellence. Pourtant, cet élitisme quelque peu exacerbé et l'autoritarisme dont font preuve les ingénieurs d'État finirent par laisser certains dès le début du XIX^e siècle, estimant que ce système rétrograde ne donne pas à la France les moyens du décollage industriel qu'elle mériterait. Les ingénieurs d'État de l'époque ne montrent en effet pas le même dynamisme qu'un récent groupe d'ingénieurs constitué en Angleterre : les ingénieurs civils. Ces derniers, par leurs inventions techniques telles la machine à vapeur, ont été Outre-Manche les véritables moteurs de la révolution industrielle. De son côté, la France ne peut que déplorer l'absence d'ingénieurs équivalents. Preuve en est l'importation, croissante bien que coûteuse, du savoir et savoir-faire industriel de ces nouveaux ingénieurs civils anglais (Grelon, 2000).

Pour répondre à cette pénurie d'ingénieurs civils et remédier au coût trop lourd de l'importation du savoir et du savoir-faire industriel anglais, trois savants issus de l'École Polytechnique (J.-B. Dumas, E. Pécelet et T. Olivier) vont s'associer à un homme d'affaire (A. Lavallée) pour ouvrir en 1829 l'École Centrale des Arts et Manufactures. La création de cette École marque une rupture profonde dans la profession en brisant « *le monopole intellectuel, institutionnel et social qu'exerçaient jusqu'alors les ingénieurs des Corps de l'État* » (Shinn, 1978, p. 52). L'École Centrale des Arts et Manufactures, devenue plus tard l'École Centrale Paris, a ainsi bousculé les règles morales des ingénieurs de l'époque. À sa création, cette institution reposait sur deux concepts fondamentaux. L'affirmation d'une science autonome de l'ingénierie : la « science industrielle » d'une part, et d'une éthique de l'ingénieur fondée sur une idéologie positive d'autre part. Le premier concept marque une rupture avec la vision académique de la formation de « l'honnête homme » du XVIII^e siècle et encourage l'idée selon laquelle l'ingénieur peut obtenir à la fois considération et fortune : le gain n'est plus perçu comme dégradant ou honteux, mais plutôt comme une conséquence logique de la créativité et de l'inventivité. Le succès de l'École a été couronné en 1848 par la création de la Société des Ingénieurs Civils de France, dont les ingénieurs d'État étaient exclus ! Il existait en effet à l'époque un conflit ouvert entre les ingénieurs civils, principalement issus des couches inférieures des classes moyennes et non recrutés via le concours très difficile de l'École Polytechnique, et les ingénieurs des Corps d'État provenant de la haute bourgeoisie et de l'aristocratie (Shinn, 1978). Ce conflit a atteint son apogée quelques années plus tard, lorsque les ingénieurs civils sont parvenus à acquérir un haut statut professionnel, en plusieurs

points identiques à celui des ingénieurs des Corps. Si des divergences de vision du métier existaient entre ces deux profils d'ingénieurs, la maîtrise technique restait néanmoins le socle commun aux uns et aux autres.

En 1857, la déclaration du président de la Société des Ingénieurs Civils de France confirme l'importance cruciale de la technique dans le développement du progrès social et *in fine* du bonheur de la population : « *l'industrialisation est essentielle au progrès humain car elle symbolise la domination de l'homme sur la nature, et le libère, en contribuant à l'accroissement des richesses de la société, des servitudes dégradantes de la pauvreté* » (Shinn, 1978, p. 57). Cette prégnance de la domination technique et l'évolution de la formation de ces nouveaux ingénieurs civils a modifié en profondeur leur fonction mais aussi leur rôle au sein de la société française. Leur responsabilité sera désormais moins administrative et technique, que sociale et technique. L'ingénieur civil de l'époque endossera un double rôle de médiateur social se faisant l'arbitre des conflits entre patron et ouvrier, et d'éducateur enseignant aux ouvriers (Gourisse, 1999). Cette double position prolongera leur fonction d'autorité ayant précisément pour fondement la maîtrise de la technique et des mathématiques (Levy-Leboyer, *in* Thépot, 1986). Ainsi, d'« *homme de la machine* », et « *d'inventeur individuel* », l'ingénieur est devenu « *l'homme du processus de production* » et « *l'inventeur organisateur* » (Moutet, 1986, p. 237 et Lasserre, 1986, p. 239, *in* Thépot, 1986).

3. L'importance du rôle social de l'ingénieur

Pour autant, les ingénieurs civils n'ont pas eu le monopole du souci de l'harmonie sociale et quelques ingénieurs d'État, tel F. Le Play, ancien élève de l'École des Mines, ont montré les mêmes préoccupations. Ce dernier fonde la Société d'Economie Sociale moins de dix ans après la Société des Ingénieurs Civils de France. L'institution résulte de la volonté de cet ingénieur forestier d'ajouter une dimension sociale à la gestion pérenne des forêts françaises, malmenées à la fin du XVII^e siècle et au début du XVIII^e siècle par une série d'avalanches et de crues provoquant une érosion très importante des terrains montagneux. En effet, la formation de Le Play l'a amené « *à parcourir des régions forestières et des contrées minières situées hors de France où il constate l'existence de populations stables, très différentes de celles des zones industrielles françaises* » (Kalaora *et al.*, 1986). Ses observations personnelles du terrain lui confirment que les principes idéologiques de la loi du 28 juillet 1860, élevant la forêt au rang de révélateur et de critère de l'état social, sont beaucoup trop rigoureux à l'égard des populations locales dont les intérêts sont totalement occultés. Il était en effet courant d'entendre au sein de la majorité des ingénieurs forestiers : « *à mauvaise forêt, mauvaise société* » ou encore « *ce qui est bon pour la forêt est bon pour la société* », sans plus de nuances (Kalaora *et al.*, 1986). Les réflexions de Le Play le conduiront à publier plusieurs ouvrages dont un, fondamental, *La Réforme Sociale en France*, dans lequel il développera le concept de « *paix sociale* ». Bien que les Leplaysiens resteront minoritaires au sein des ingénieurs forestiers, leur mouvement a tout de même eu des conséquences dans l'aménagement, et une influence prolongée jusque dans les années 1950. Dès 1871, la loi de 1860 sur le reboisement est remise en cause par les Leplaysiens de façon évidente, mais aussi par certains ingénieurs forestiers « *conservateurs* » : « *on est obligé de constater que la loi sur le reboisement des montagnes a violemment froissé le sentiment des populations. Elles y ont*

vu une atteinte au droit de propriété, une dépossession d'usages séculaires, une aggravation de leur misère. Leur irritation s'est bientôt traduite par des résistances, des dévastations dans les semis et dans les plantations (...) des séditions même »¹. Par ailleurs, une distinction durable s'opère à la fin du XIX^e siècle entre les ingénieurs forestiers « conservateurs » et les Leplaysiens sur le rôle qu'ils ont à jouer. Jules Viette, ministre de l'agriculture en 1871, quelque peu réceptif aux préoccupations leplaysiennes, remet également en question l'autoritarisme et le manque de considération des ingénieurs « conservateurs » envers les populations locales : au lieu « de s'enfermer dans leur tour d'ivoire, les forestiers devraient vivre en contact avec des paysans et devenir des auxiliaires appelés à faire connaître (...) les découvertes scientifiques qui intéressent à un si haut point les progrès de l'agriculture » (Viette, 1888, in Kalaora, 1986). Michel Marié distingue les deux profils d'ingénieurs forestiers de l'époque en ces termes : les aménageurs et les « ménageurs » du territoire (Marié et al., 1986).

En près de deux siècles, la fonction et le métier d'ingénieur ont beaucoup évolué. Les ingénieurs français qui « étaient au service de la nation (ou du roi) avant d'être au service de leur métier ou de leur groupe », ont su se constituer en un groupe professionnel reconnu (Didier, 2008, p. 60). Pourtant, la crise de 1929, l'obtention de congés payés pour les salariés en 1936, ainsi que la Seconde Guerre Mondiale, pour des raisons différentes, vont affaiblir le groupe professionnel, et par conséquent son rôle au sein de la société française.

4. Expansion ou fragmentation de la profession des ingénieurs au XX^e siècle ?

L'âge d'Or de l'ingénieur a duré un peu plus d'un siècle et se situe entre les années 1850 et 1970 (Michaud, 2010). En 1954, G. Lamirand le définit encore comme « celui qui utilise et applique des grandes innovations scientifiques et joue donc le rôle d'animateur permanent du progrès » (Lamirand, in Lasserre, 1989, p. 12). Pourtant, à partir de la crise économique de 1929, le pouvoir de l'ingénieur va être peu à peu rongé par la généralisation des avantages sociaux et l'ère des grandes organisations (Lasserre, 1987). Le développement du syndicalisme remet en cause l'autorité que l'ingénieur exerçait jusqu'alors sur les ouvriers. Parallèlement, l'extension des droits sociaux aux ouvriers et aux salariés, tels les congés payés, contribue à banaliser le statut de l'ingénieur. En effet, ce dernier faisait jusqu'alors partie de l'élite bénéficiant de congés payés, ce qui le distinguait de la masse salariale. De même, l'ingénieur, qui touchait jusqu'alors une gratification, c'est-à-dire un salaire assorti de diverses primes adaptées à sa propre situation, va progressivement devenir salarié touchant un salaire classique. Par ailleurs, le contexte économique au sortir de la Seconde Guerre Mondiale fragilise encore davantage la profession : les entreprises n'ont plus tant besoin d'ingénieurs pour produire, mais de cadres commerciaux pour vendre. Pour la première fois, les ingénieurs vont connaître des problèmes de débouchés professionnels. Enfin, la structuration des entreprises en grandes organisations provoquera un éloignement des ingénieurs des lieux de décision, les grandes stratégies politiques et financières étant désormais aux mains des principaux actionnaires. Henri Lasserre en conclut que l'ingénieur

¹ Tallon E., Rapport à l'Assemblée nationale sur l'état général des travaux publics, cité dans Kalaora B., et al., 1986, *La forêt pacifique. Sylviculture et sociologie au XIX^e siècle*, l'Harmattan, Paris.

est devenu un « *relais impersonnel* » au sein de l'entreprise (Lasserre, 1989, p. 27). Le relatif déclin du rôle de l'ingénieur français est également souligné de façon indirecte dans la définition proposée en 1968 par l'UNESCO : « *homme dont la tâche est de rassembler et de mettre en œuvre des idées, des moyens matériels et des hommes, pour réaliser des objets ou des projets* » (Lasserre, 1989, p.35). Comme le souligne H. Lasserre, cette définition met en avant l'aspect du travail de réalisation de l'ingénieur au détriment du rôle de commandeur qu'il exerçait autrefois. Après les années 1960, l'ingénieur va être peu à peu confondu avec la vaste catégorie des cadres, au point qu'à partir de cette date, il est difficile de trouver des statistiques différenciant les cadres des ingénieurs (Thépot, 1986 ; Ternier, 1984).

Lors du célèbre colloque intitulé *L'Ingénieur dans la société française*, tenu au Creusot en 1980, la question du devenir de ce groupe professionnel et de l'incertitude de son avenir préoccupe de nombreux intervenants. Certains font parfois même preuve de pessimisme : « *Nous allons droit vers un siècle sans imagination. (...) L'ingénieur doit être ingénieux. Or à l'école, on apprend à imiter, à répéter alors que dans la vie, on doit inventer, surtout quand on est ingénieur !* »¹⁴. La spécialisation accrue des ingénieurs en cette fin de XX^e siècle tend à poser la question de l'identité du groupe professionnel. Etienne Dejonghe définit ainsi quatre grandes catégories d'ingénieurs, dont les fonctions et les formations sont désormais aussi diverses que variées : le praticien, le décideur, le concepteur, et l'ingénieur de haute technologie¹⁵. Pour parer à la relative perte de vitesse de ce groupe professionnel, J. Dubois note que « *les ingénieurs se réfèrent de plus en plus à une norme de rationalité technique, et ne comprennent pas pourquoi telle solution, excellente techniquement, a été rejetée* »¹⁶. Or, c'est justement cette vision étroite et techniciste qui est souvent reprochée aux ingénieurs. Si les connaissances techniques qu'ils possèdent sont impératives, elles ne semblent plus être désormais suffisantes pour exercer le métier d'ingénieur. La Commission des Titres d'Ingénieur confirme cette évolution en proposant aujourd'hui une définition du métier qui ne se réduit pas à la seule maîtrise technique : « *Le métier de base de l'ingénieur consiste à résoudre des problèmes de nature technologique, concrets et souvent complexes, liés à la conception, à la réalisation et à la mise en œuvre de produits, de systèmes ou de services. Cette aptitude résulte d'un ensemble de connaissances techniques d'une part, économiques, sociales et humaines d'autre part, reposant sur une solide culture scientifique* »¹⁷.

Les années 1960 ont marqué le grand tournant du modernisme et ouvert l'ère des grands projets d'aménagement. Domaine de prédilection des ingénieurs, ces grands projets ont cependant suscité de façon générale un mouvement de contestation et une remise en cause, dès la fin des années 1960, de la façon dont les ingénieurs envisageaient les questions environnementales. Denis Cosgrove souligne ainsi que la « *conception des questions environnementales, comme relevant d'une évaluation économique abstraite et de solutions purement techniques, (...) a été progressivement remise en cause au cours des vingt dernières années* » (Cosgrove, 2010, p. 25). Frédéric Pousin, dans l'éditorial du n°18 des *Carnets du*

14 Intervention de Paul Chaslin dans le débat du colloque « L'Ingénieur dans la société française », dirigé par André Thépot en 1986.

15 Intervention d'Etienne Dejonghe dans le débat du colloque « L'Ingénieur dans la société française », dirigé par André Thépot en 1986.

16 Intervention de Jacques Dubois dans le débat du colloque « L'Ingénieur dans la société française », dirigé par André Thépot en 1986.

17 Définition consultable sur le site : www.cti-commission.fr

paysage portant sur la place et le rôle des ingénieurs dans le génie paysager, questionne la nature des nouvelles formes d'ingénierie en lien avec les nouveaux domaines de l'aménagement du territoire (environnement, climat, risques, biodiversité) : « ces nouvelles formes d'ingénierie sont-elles comparables au génie civil qui a tant marqué l'image de notre pays ? » (Pousin, 2010, p. 3). L'auteur note ainsi une évolution du rôle de l'ingénieur de l'aménagement du territoire, et le passage d'un mode « de conception des ingénieurs civils, empreints d'une logique d'optimisation, vers des modes de conception intégrés, capables de construire une synthèse complexe des besoins, au sein de laquelle ni l'ingénierie civile, ni le paysage ne domine » (Pousin, 2010, p. 4).

Rôle et statut des ingénieurs ont beaucoup évolué depuis la constitution des Corps d'État, au gré des besoins et des problèmes de société, en perpétuel mouvement. Le nouveau défi de l'intégration des questions environnementales à leur réflexion et à la conception de projets et d'ouvrages techniques ouvre le débat sur l'adaptation consécutive des formations d'ingénieurs. Or le cas français fait preuve de singularité au regard des modèles anglais et néerlandais, davantage orientés vers l'aspect pratique du métier.

C. Ecole d'ingénieurs ou universités ? Analogies et singularités des modèles de formation anglo-saxons et français.

Les dictionnaires indiquent que les mots *ingénieur*, *engineer* en anglais et *ingenieur* en néerlandais, ont la même origine et proviennent tous trois du vieux français « engigneur ». Si les trois termes sont équivalents aujourd'hui, on ne devient pourtant pas *ingénieur*, *engineer* ou *ingenieur* de la même façon. Par ailleurs, les ingénieurs français expriment quelques réticences à considérer leurs homologues anglo-saxons comme leurs égaux (Laffont, 2006). Les ingénieurs civils anglais, pourtant à l'origine du décolllement industriel précoce de leur pays, semblent aujourd'hui bénéficier d'une moindre reconnaissance sociale que leurs homologues français qui jouissent encore actuellement d'un fort prestige. Être *engineer* aujourd'hui ne donne pas grande information sur la fonction de la personne, et le public britannique novice l'associe généralement à un travail manuel, en lien avec la mécanique, la technologie. Être *ingénieur* en France fait au contraire référence, dans l'esprit collectif, à un certain niveau d'études scientifiques et techniques, et suscite souvent l'admiration. Cette différence notable semble trouver une part d'explication dans les dissemblances des modèles de formation anglais et français, l'un ayant toujours mis en avant l'importance de l'expérience pratique sur le terrain, l'autre, la sélection par les mathématiques, la physique et la mécanique. Ainsi, dans une conférence relative aux formations des ingénieurs en Europe, D. Gourisse¹⁸ explique qu'à partir de la fin du XVIII^e siècle, deux modèles de formation d'ingénieurs se distinguent nettement : le modèle anglais et le modèle continental¹⁹.

18 Ingénieur formé à l'École Centrale des Arts et Manufactures, il prendra la direction pendant 25 ans de cette École devenue entre temps l'École Centrale Paris.

19 Intervention de Daniel Gourisse « L'Europe et ses formations d'ingénieurs » dans le colloque *Inventer la connaissance* qui s'est déroulé en décembre 2007 au sein de l'École Centrale de Lyon. Cette conférence est consultable sur le site : <http://efferve-sciences.ec-lyon.fr/spip.php?article52>

Pourtant, au début du XIX^e siècle, des Français vont s'inspirer de la réussite des ingénieurs civils anglais pour créer une nouvelle école d'ingénieurs, aux ambitions modernes et tournées vers l'industrie. Les fondateurs de l'École Centrale des Arts et Manufactures expliquent et justifient la création de leur école en 1829 de la façon suivante : « *La supériorité de l'industrie, en Angleterre, tient principalement à l'existence dans ce pays d'un grand nombre d'ingénieurs civils presque inconnus en France. (...) C'est aux ingénieurs civils que l'Angleterre doit presque toutes les découvertes et les perfectionnements qui se font dans l'industrie : aussi cette carrière est en Angleterre aussi honorée que lucrative* » (Grelon, 2000, p. 47). Bien que cette introduction rende hommage aux ingénieurs civils anglais du XIX^e siècle et mette en exergue le prestige dont ils jouissaient alors dans leur pays, les quatre jeunes fondateurs de l'École, lorsqu'ils entreprennent d'établir le programme de formation et la sélection d'entrée dans leur école, se gardent bien de copier le modèle anglais. L'Angleterre prônait, depuis plusieurs décennies déjà à l'époque, une formation en atelier, guidée par un expert reconnu qui suivait tout au long de leur apprentissage les futurs ingénieurs civils. Cette méthode impliquait de longues études et par conséquent un coût non négligeable pour les familles qui devaient nécessairement être aisées, mais surtout d'entrer en contact avec un ingénieur de la célèbre *Institution of Civil Engineers*, cercle privé très fermé auquel on pouvait accéder par parrainage uniquement (Gourisse, 1999). Quelques décennies seulement après la Révolution, ce genre de méthode, cultivant finalement un système aristocratique, n'était pas le bienvenu en France. Aussi, les fondateurs de l'École Centrale des Arts et Manufactures ont-ils repris et adapté le modèle de concours et de sélection par les mathématiques mis en œuvre pour intégrer l'École Polytechnique, créée en 1794. Enfin, deux autres raisons pouvaient expliquer ce refus du modèle de formation anglais. D'une part les fondateurs voulaient se démarquer du Conservatoire National des Arts et Métiers, créé en 1794 dans un esprit multidisciplinaire et de vulgarisation scientifique (Fleury, 1997) mais dont le niveau de formation théorique ne leur semblait pas suffisant. D'autre part, ces derniers avaient mesuré l'ampleur de la pénurie d'ingénieurs civils en France, et par conséquent l'urgence avec laquelle il fallait y remédier, en réduisant par exemple à deux le nombre d'années d'étude. En somme, l'objectif clairement revendiqué était de créer une École polytechnique civile (Grelon, 2000). La création de cette école, aujourd'hui encore parmi les plus prestigieuses, aura donc été une réussite nationale mais aussi européenne puisque de nombreux pays ont rapidement pris ce modèle de formation pour exemple (Gourisse, 1999).

Le nom de *Polytechnic school* donné de 1864 à 1905 à l'actuelle Université Technologique de Delft, semble n'avoir influencé la formation des ingénieurs néerlandais que superficiellement puisque cette dernière s'est progressivement inspirée d'un troisième modèle, universitaire, dit « humboldtien » (Gourisse, 1999). Ce modèle accorde en effet une place particulière à la recherche par le biais de laquelle l'université doit avant tout former des hommes plutôt que projeter sur eux l'apprentissage d'un métier prédéfini. Le sociologue C. Lessard définit ainsi le modèle de l'université humboldtienne :

« [Cette] université n'a pas uniquement pour mission de transmettre l'héritage culturel accumulé au fil des siècles ; grâce à la science et à sa méthode positive, elle produit du savoir et éloigne les frontières de l'ignorance. Elle nous

permet non seulement de comprendre le monde, mais aussi d'agir sur lui » (Lessard, 2012).

Ainsi, depuis de nombreuses décennies, les ingénieurs néerlandais sont particulièrement encouragés durant leur formation à développer leur imagination et leur ingéniosité tout en bénéficiant d'une très haute formation scientifique. L'un des meilleurs exemples pour illustrer cette tendance est sans doute la proposition révolutionnaire du barrage amovible de l'Escaut oriental, imaginée par des étudiants de l'Université Technologique de Delft au tournant des années 1970²⁰.

À eux seuls, les Pays-Bas, la France et le Royaume-Uni regroupent les trois principaux modèles de formation d'ingénieurs, conservant encore aujourd'hui des singularités propres tant dans la durée des études que dans la part d'enseignement théorique et pratique : le modèle humboldtien, le modèle anglais et le modèle dit « napoléonien », bien que l'établissement des premières écoles d'ingénieurs soient antérieures à l'époque napoléonienne²¹.

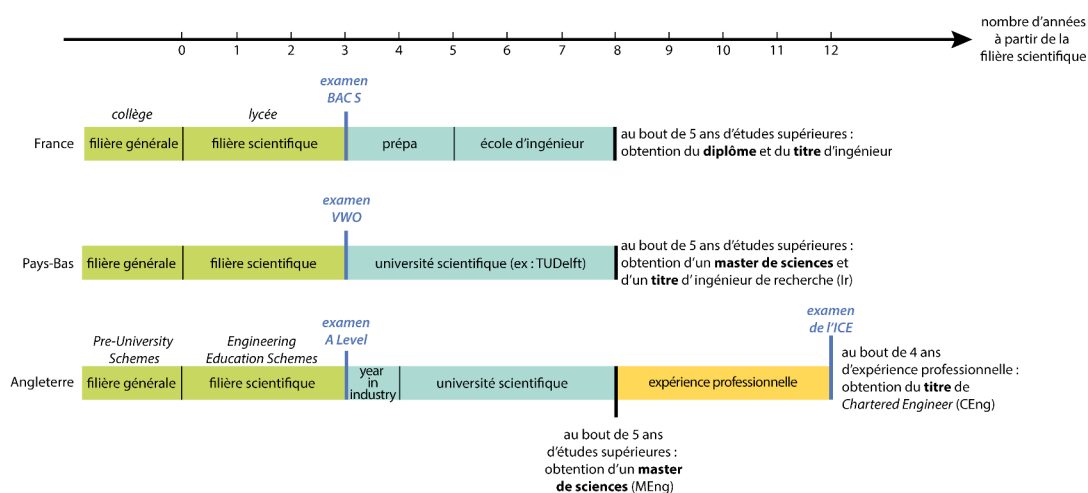


Figure 1 : comparaison du nombre d'années nécessaire pour devenir ingénieur en France, aux Pays-Bas et en Angleterre. Sources : Didier, 2008, Laffont, 2006 ; Gourisse 1999 et entretiens.

La figure 1 compare dans leurs grands axes les cursus de formation néerlandais, anglais et français. Il résulte de cette comparaison des systèmes néerlandais et français particulièrement sélectifs, soit par concours pour le cas français, soit par la réussite à un examen sanctionnant cinq à six années d'enseignement au collège et au lycée pour le cas néerlandais. Le cas anglais se démarque également, mais d'une autre manière, puisqu'au total,

²⁰ Cet exemple sera développé en 3ème partie de thèse

²¹ Intervention de Daniel Gourisse « L'Europe et ses formations d'ingénieurs » dans le colloque Inventer la connaissance qui s'est déroulé en décembre 2007 au sein de l'École Centrale de Lyon. Cette conférence est consultable sur le site : <http://efferve-sciences.ec-lyon.fr/spip.php?article52>

neuf années sont nécessaires pour obtenir un titre d'ingénieur (5 ans d'études supérieures et 4 ans d'expérience professionnelle).

Le tableau 3 offre plus de détails sur les cursus de formation, les diplômes et les titres des ingénieurs français, anglais et néerlandais. Cette comparaison met en relief :

1/ des systèmes anglais et néerlandais orientant très tôt les élèves ou futurs élèves ingénieurs vers la pratique : dès l'équivalent du collège français pour l'Angleterre ; dès la 1^{ère} année d'enseignement supérieur aux Pays-Bas.

2/ une valeur accordée au titre d'ingénieur, variable d'un pays à l'autre : les ingénieurs anglais, en plus d'une responsabilité civile et pénale, doivent également répondre aux exigences d'un Ordre professionnel, inexistant en France et aux Pays-Bas.

Pays / Périodes d'enseignement	FRANCE	ROYAUME-UNI	PAYS-BAS	
Etudes secondaires				
13-16 ans	Collège : cursus général	Pre-University Schemes Séminaires théoriques et pratiques sur le thème de l' ingénierie	Collège : cursus général Choix de la filière VWO ou HAVO VWO : <i>hoger algemeen voortgezet onderwijs</i> (« éducation pré-universitaire ») HAVO : <i>hoger algemeen voortgezet onderwijs</i> (« haute éducation générale continue »)	
16 - 18 ans	Lycée : orientation scientifique	Engineering Education Schemes : - travail en équipe - projet de 6 mois - en partenariat avec entreprise	Lycée : orientation scientifique Prolongement de la filière VWO ou HAVO	
examen	Bac Scientifique	A levels	VWO : diplôme d'enseignement secondaire scientifique, sanctionnant 6 années d'études secondaires Ou HBO : diplôme d'enseignement secondaire professionnel obtenu après un HAVO : diplôme d'enseignement préparatoire aux études professionnelles, sanctionnant 5 années d'études secondaires	
Etudes supérieures				
1 ^{ère} année	Classes préparatoires Etudes théoriques scientifiques	<i>Year in Industry</i> : stage en entreprise Ou <i>Smallpiece Engineering Careers Foundation Year</i> : - cours théorique d'ingénierie et de gestion - langues étrangères - stage professionnel dans un pays européen	<i>Hogescholen</i> : Ecoles supérieures professionnelles, orientées vers la pratique	Université : Enseignement théorique, pratique et pouvant être orienté vers la recherche
2 ^{ème} année	Classes préparatoires / concours	Université	/	Université
3 ^{ème} année	Ecole d'ingénieur	Université	/	Université
4 ^{ème} année	Ecole d'ingénieur	Université	/	Université
5 ^{ème} année	Ecole d'ingénieur	/	/	Université
Diplôme / Titre				
Diplôme	Diplôme d'ingénieurs	<i>Master's degree</i>	<i>Bachelor</i>	<i>Master of Science</i>
Titre	Titre d'ingénieur obtenu avec le diplôme	Obtenu après 3 années supplémentaires d'études et après 4 ans d'expérience professionnelle, sanctionnées par l' examen de l'Institution of Civil Engineers , permettent d'accéder au titre de <i>Chartered Engineer</i> : CEng	BSc, Ing (Ingénieur industriel)	MSc, Ir (Ingénieur civil)
Ordre professionnel	Inexistant	Seuls les <i>Chartered engineers</i> sont concernés.	Inexistant	
Organisme référent	CTI : Commission des Titres d'ingénieurs	RAE : <i>Royal Academy of Engineering</i>	NVAO : <i>Nederlandse-Vlaamse Accreditatie Org</i>	

Tableau 3 : Comparaison des cursus néerlandais, anglais et français menant au diplôme d'ingénieur.

Sources : Didier, 2008 ; Laffont, 2006 ; Gourisse, 1999 ; entretiens.

D. Diplôme et Statut des ingénieurs : vers une unité européenne ?

Si ces formations d'ingénieurs conservent leur spécificité nationale, une adaptation s'est cependant opérée durant les dernières décennies afin de faciliter des échanges de plus en plus nombreux entre les établissements des trois pays, et de faire ainsi bénéficier les élèves-ingénieurs de la complémentarité des formations. Ainsi, les écoles d'ingénieurs françaises délivrent un diplôme d'ingénieur au bout de cinq années d'étude, équivalent à un *Master's degree of Science* aux Pays-Bas (Noble *et al.*, 2006). De même, l'allongement des études en Angleterre instauré en 1997, dans un premier temps pour revaloriser le diplôme d'ingénieur et remédier aux mauvais résultats de la recherche en ingénierie constatés par la *Royal Academy of Engineering*, a par ailleurs permis de délivrer un diplôme de *Master of Engineering* (MEng) équivalent du *Master of Science* MSc délivré aux Pays-Bas. Cependant, la coopération entre établissements d'ingénieurs reste attentive au niveau respectif des établissements. Ainsi, l'excellente Université Technologique de Delft a signé des accords bilatéraux avec les écoles d'ingénieurs françaises regroupées au sein du réseau ParisTech (dont l'École des Ponts et Chaussées), garantissant la valeur du diplôme final obtenu (de Bakker *et al.*, 2005).

Toutefois, cette adaptation reste très timide dans le cas des grandes écoles françaises. Les directeurs d'écoles ainsi que la Commission des Titres d'Ingénieurs se montrent en effet particulièrement hostiles aux critiques de leur modèle de formation, qu'elles proviennent d'un pays étrangers ou de l'Agence d'évaluation de la recherche et de l'enseignement supérieur (Aeres). En 2010, l'Aeres constate ainsi que l'enseignement français repose sur « *une formation par le stress* » accordant trop d'importance aux mathématiques au détriment du « *cœur de la formation en ingénierie* », ce qui est « *souvent critiqué et pas toujours compris à l'étranger* »¹. C'est principalement l'immobilisme de ces écoles qui est remis en question. Paul Jacquet, président de la Conférence des directeurs des écoles françaises d'ingénieurs, rétorque que les écoles d'ingénieurs ne forment que la moitié des ingénieurs français, les autres passant par les filières universitaires. Or, « *si on veut des avions qui volent ou des centrales qui ne divergent pas, il faut des ingénieurs capables de manier des données abstraites et complexes : les maths sont un très bon outil pour ça !* ». En somme il existerait deux catégories d'ingénieurs : l'élite, formée dans les écoles d'ingénieurs recrutant après deux années préparatoires et formée pour relever les grands défis d'innovation technologique, et les ingénieurs provenant d'autres formations, dont on attendrait finalement moins. Pourtant, selon cet article du Monde, les ingénieurs français « *créent trop peu d'entreprises, ne déposent pas assez de brevets, ne font pas assez de thèses...* ». Serait-ce le résultat d'un intérêt encore trop faible des formations françaises pour la pratique et la recherche ?

¹ Article du *Monde* du 18 février 2011 : « Polémique autour de la formation à la française des ingénieurs », de Benoît Floc'h.

Conclusion du chapitre 1

L'ingénieur a connu une évolution formidable, passant de l'inventeur individuel maîtrisant les sciences, les techniques et les arts, à l'homme de corporation s'inscrivant dans un véritable réseau social et professionnel. La révolution industrielle a consolidé et étoffé plus encore la structuration de la profession. Ainsi, la force des ingénieurs, et par conséquent leur pouvoir croissant, réside certainement dans leur capacité à avoir non seulement inventé de nouvelles techniques révolutionnaires telles la machine à vapeur, mais en plus à avoir su s'approprier puis maîtriser le processus de production, devenant une sorte de « guide » respecté par la société. Toutefois, si ce constat est globalement valable pour le nord-ouest de l'Europe, des nuances ressortent encore aujourd'hui dans les trois pays d'étude. L'essence même de l'ingénieur est finalement d'inventer sans cesse son métier, au fil des avancées techniques et scientifiques. Pour ce faire, chaque pays a fini par développer ses propres spécificités de formation, bien qu'une volonté d'uniformiser les formations d'ingénieurs à l'échelle de l'Europe soit aujourd'hui clairement affichée : la France est ainsi reconnue pour la grande qualité de la formation technique et théorique de ses ingénieurs ; l'expertise néerlandaise internationalement reconnue en matière d'innovation technique s'explique certainement par la mise en avant de la recherche dans la formation des ingénieurs ; enfin les ingénieurs anglais sont réputés pour l'orientation pratique de leur formation.

Ce premier portrait des ingénieurs incite à regarder de plus près l'importance du rôle qu'ils ont joué dans l'aménagement du littoral, et, pour établir un cadre de comparaison, à décrire plus précisément le contexte environnemental dans lequel ces ingénieurs ont opéré.

Des ingénieurs hydrauliciens garants de la sécurité face aux tempêtes du nord-ouest européen

Ce chapitre met en relation la structuration croissante des corps d'ingénieurs précédemment décrite avec le territoire littoral qu'ils n'ont eu de cesse de remodeler, voire de créer de toute pièce. L'analyse du lien particulier qui unit les ingénieurs hydrauliciens à ce territoire constamment soumis depuis le Moyen-Âge aux tempêtes meurtrières permettra de mieux saisir l'importance et le rôle durable que ces derniers ont joué dans l'histoire de l'aménagement nord-ouest européen.

I. Le rôle durable des ingénieurs dans l'histoire de l'aménagement du littoral nord-ouest européen

Bien que les Pays-Bas, la France et la Grande-Bretagne aient une histoire largement partagée dans le domaine de l'aménagement de leurs littoraux, la position de *leader* des premiers a semblé devoir être mise en avant par un paragraphe distinct.

A. Les Néerlandais, un peuple d'ingénieurs hydrauliciens ?

1. De la peur du *waterwolf*...

Le *waterwolf* ou la terreur du « loup marin » ! Fréquemment employé dans la littérature néerlandaise et ayant définitivement marqué l'histoire du pays, le terme traduit l'action destructrice, dévorante du vent abattant des lames de tempête meurtrières sur les terres basses vulnérables (TeBrake, 2002 ; Reuss, 2002). Pendant des siècles, les Frisons ont vécu avec cette peur sans autres armes que leur force de caractère, leur persévérance et leur bêche pour la combattre. À défaut de susciter une quelconque admiration pour leur courage face à des conditions de vie particulièrement difficiles, les Frisons ont d'abord laissé leurs visiteurs perplexes. Au début de notre ère, Tacite écrit ainsi à propos de la région nord du pays : « *L'océan est plus violent que les autres mers, et le ciel de la Germanie plus affreux que les autres climats (...)* On n'avait autour de soi que des rivages ennemis ou une mer si vaste et si profonde qu'on la regardait comme la limite de l'univers et qu'on ne suppose pas de terres au-delà » (Lebecq, 2011, p. 253). Cette description à la tonalité de « fin du monde » se retrouve également dans les écrits de Pline l'Ancien qui décrivait les Frisons comme un peuple misérable de marins naufragés, abandonnés au sommet de leurs fragiles monticules de terre pour échapper aux flots ravageurs (Van Veen, 1962). Des documents historiques font en effet mention de quelque 1200 monticules de terre (appelés *terpen* en néerlandais) d'une surface allant de 2 à 5 hectares et d'une hauteur de quelques mètres seulement, établis sur un territoire d'environ 2200 km² (Charlier *et al.*, 2005). L'on comprend alors aisément

l'étonnement que pouvait susciter un tel paysage : Pline l'Ancien ne pouvait ainsi dire si le pays des Frisons appartenait à la terre ou à la mer (Van Veen, 1962). Et pour cause, ce territoire de plaines basses littorales où s'affrontent rythme des marées de la mer du Nord et déversement des trois plus grands fleuves européens, le Rhin, la Meuse et l'Escaut, est particulièrement propice aux inondations marines ou/et fluviales. Cette configuration, unique en Europe, a été renforcée par la deuxième transgression dite dunquerkienne, relevant le niveau marin de plusieurs mètres à partir du IV^e siècle après J.-C. Témoignages des modifications induites, les premières traces écrites de grands raz-de-marée dans la région datent du début du IX^e siècle : plusieurs historiens s'accordent sur la survenue à cette époque d'inondations tantôt marines tantôt mixtes, en tout cas meurtrières. La submersion marine de janvier 838, une des plus anciennes recensées, fait état de plusieurs milliers de morts ainsi que de destructions massives d'habitations (Gottschalk, 1971, *in* Lebecq, 2011, p. 175). S'il est difficile d'accorder une confiance aveugle aux chiffres relatés, ces événements témoignent de catastrophes terrifiantes, dont l'exagération éventuelle des faits exprime sinon une réalité, du moins un ressenti parfois tout aussi pertinent à prendre en compte. La prolongation de la transgression dunquerkienne jusque vers la fin du Moyen-Âge et la formation parallèle de sévères tempêtes en Mer du Nord, ont multiplié les épisodes d'inondations. Les historiens recensent en moyenne trois inondations graves par siècle entre les XI^e et XIV^e siècles (Wagret, 1959). À la fin du XII^e siècle, une tempête a ainsi définitivement ouvert une zone particulièrement basse, appelée depuis lors Zuider Zee ou Mer du Sud par opposition à la Mer du Nord (TeBrake, 2002). La récurrence de ces inondations majeures aurait pu laisser croire en l'abandon de la lutte contre l'élément marin si puissant, mais cela aurait été sans compter sur l'esprit autoprotecteur et de conquête de ce peuple. Comme le mentionne J. Van Veen dans son ouvrage *Dredge, Drain, Reclaim, The Art of the Nation*, le IX^e siècle est celui de l'unification des forces, de la solidarité et de l'obstination. Le *Golden Hoop* – levée continue de terre argileuse, édiflée tout autour du pays et permettant de contenir le mouvement des marées - cristallise tous ces efforts et marque le début d'une nouvelle ère : celle de la lutte organisée et offensive contre l'eau (Van Veen, 1962).

2. ... à la naissance de l'ingénierie hydraulique

La formation du Zuider Zee, généralement attribuée à la tempête de 1134, aurait provoqué un bouleversement sans précédent dans la lutte contre les submersions marines et inondations (TeBrake, 2002). Ce sont à la fois les techniques d'endiguement, la coordination et l'organisation des travaux qui illustrent ce tournant majeur au XII^e siècle. Preuve en est l'accélération presque constante des conquêtes sur la mer à partir de cette époque. Après s'être acharnés pendant des siècles à contenir tant bien que mal les flots au-delà de fragiles levées de terre, les Néerlandais ont franchi une étape supplémentaire en repoussant la mer, asséchant de grandes surfaces lacustres et en agrandissant considérablement leur territoire : « *en coupant les communications entre la mer et les lacs intérieurs, les Hollandais faisaient reculer la menace de submersion* » (Wagret, 1959, p. 72). Ainsi la constitution d'un réseau de digues protectrices a remplacé progressivement la construction des terpen (TeBrake, 2002). Pas moins de 300 ha/an ont été conquis sur la mer entre 1200 et 1500. Cette superficie a doublé entre 1350 et 1400 pour atteindre 1780 ha/an en moyenne entre 1615 et 1640. La

Zélande a ensuite fait preuve d'une dynamique de poldérisation particulièrement remarquable : 21 720 hectares entre 1640 et 1665, soit les trois quarts des poldérisations effectuées à l'échelle nationale pour la même époque (Wagret, 1959). Outre la construction de barrages, trois sortes de techniques se sont développées simultanément : les digues, les écluses et les méthodes de drainage. Le tableau 4 résume l'ensemble de cette avancée entre les XIII^e et XVII^e siècles.

périodes	digues	écluses	drainage
XIII ^e siècle	Matériau : madrier en bois + argile	Matériau : bois Structure : une porte Longueur : environ 15 mètres	Evacuation de l'eau à marée basse uniquement Puis drague à godets mus par des chevaux
XV ^e siècle	Idem + élévation de hauteur des digues par une couche supplémentaire d'argile	Matériau : combinaison de bois + briques Structure : 2 portes Longueur : environ 40 mètres	1408 : 1ers moulins à vent eau relevée de 1,5 mètre Emploi de la vis d'Archimède
XVII ^e siècle	Matériau : pierre + argile Elargissement Adoucissement des pentes internes et externes pour remédier à l'affouillement des vagues en cas de surverse	Matériau : combinaison de pierre + briques Structure : une double porte à 2 battants Longueur : environ 80 mètres	1570 : moulins à tête pivotante eau relevée de 3 mètres

Tableau 4 : Évolution des techniques et ouvrages d'endiguement entre les XIII^e et XVII^e siècles

Sources : Reuss, 2002 ; TeBrake, 2002 ; Van Dam, 2002 ; Bertrand & Goeldner, 1999 ; Wagret, 1959.

Ces évolutions techniques remarquables, et en particulier l'apparition du moulin à vent, ont permis aux Néerlandais de s'établir dans les basses plaines du pays, faisant de ce dernier le pays le plus densément peuplé et urbanisé d'Europe au Haut Moyen-Âge (TeBrake, 2002). Ainsi que l'exprime J. Van Veen, « *les moulins à vent étaient les instruments qui ont transformé une menace en un avantage*¹ » (Van Veen, 1962, p. 43). Les digues et barrages sont ensuite devenus aussi importants que l'attention portée aux canaux de drainage. Ces deux équipements, éléments d'un système complexe dans lequel les niveaux et les courants d'eau sont devenus totalement maîtrisés par les hommes, marquent le début de l'ingénierie hydraulique. Ce système complexe a nécessité l'élaboration de mesures, de calculs de résistance des matériaux et des pentes de digues, optimisant leur rôle protecteur. Cette systématisation des calculs, leur standardisation et leur inscription dans des registres dès le XV^e siècle, constitue une démarche nouvelle bien différente de l'édification ponctuelle de digues le long de canaux, entreprise dès l'invasion romaine. Ainsi, la technique appliquée de façon isolée ne saurait s'apparenter à l'ingénierie hydraulique au sens moderne du terme (TeBrake, 2002).

À la même époque, une seconde évolution tout aussi nécessaire à l'assise de l'ingénierie hydraulique s'effectue en parallèle : l'organisation croissante de la gestion de l'eau. Les Pays-Bas ont en effet connu une forme originale et ancienne de gestion de l'eau. Si les Frisons, emprunts de liberté et refusant toute autorité extérieure, ont obéi pendant des siècles à « la loi de la bêche » établie sur la capacité individuelle à entretenir la digue, le développement de techniques de protection de plus en plus complexes contre les submersions

¹ « *the windmills were the instruments which turned a threat into a boon* »

marines, en Hollande et dans la région d'Utrecht en particulier, a nécessité une structuration croissante des compétences techniques et administratives de même qu'une prise en charge du coût des travaux à plus petite échelle. La maîtrise des kilomètres linéaires de digues protégeant plusieurs milliers de personnes en amont ne pouvait plus relever d'une compétence locale, autrement dit des associations de fermiers dont les conseils de village étaient la clé d'organisation. De même, la construction systématique de barrages dans la région hollandaise dépassait l'échelle locale de gestion habituelle. C'est ainsi qu'à la fin du XII^e siècle ont commencé à se constituer des autorités régionales de l'eau ou *waterschappen*². Tout d'abord fondées pour établir des règles de construction et suivre les travaux d'ingénierie hydraulique, ces autorités régionales ont vu leurs compétences s'élargir au fil des siècles. À la fin du XIII^e siècle, les *waterschappen* avaient pour mission d'établir et de maintenir le système de drainage, d'inspecter plusieurs fois par an l'état des digues, de prendre les décisions sur les travaux de réparation ou d'entretien à mener, d'établir un calendrier, de formuler des règles de dimensionnement d'ouvrage, enfin, d'arbitrer les conflits d'usage et de défendre l'intérêt général (TeBrake, 2002). Tout ceci était coordonné par un maître de digue ou *dijkgraaf*, homme au statut prestigieux et à la fonction lucrative transmise de père en fils³. À la même époque a été introduite une taxe qui devint rapidement régulière et systématique, dont tout le monde, quel que soit son rang ou sa profession, devait s'acquitter. En ceci, les *waterschappen* sont considérés comme les plus anciennes formes de démocraties européennes (Bijker, 2002). Cette nouvelle forme d'organisation a augmenté fortement la capacité de drainage et de protection contre les inondations aux XIII^e et XIV^e siècles. En contrepartie, les problèmes de subsidence des terres s'accrurent dès le siècle suivant. L'intensification du drainage seul est en effet une bonne opération agricole à court terme seulement car à long terme, les terres tourbeuses s'affaissent et avec elles le niveau des eaux à drainer, ce qui détériore paradoxalement à long terme les conditions agricoles (Kaijser, 2002). Du XV^e à la fin du XVIII^e siècle, le modèle régional de gestion des eaux triomphe, les moulins à vent colonisent le pays et dès 1600, ces engins ailés, disposés en série, augmentent encore les capacités de drainage. Les coûts croissants induits sont couverts par le dynamisme économique du pays qui connaît à cette époque un véritable « Âge d'Or ». Bien que des besoins de centralisation se fassent sentir dès la fin du XVI^e siècle, la création en 1580 de la République des Sept Provinces Unies n'y répondra pas et conservera le modèle régional de gestion des eaux. Il faudra attendre l'invasion du pays par les troupes françaises en 1795 pour voir émerger un fonctionnement administratif national. En 1798, sur le modèle du corps des Ponts et Chaussées, est créé le *Rijkswaterstaat*⁴. Dès lors, trois niveaux de gestion évolueront en parallèle : le niveau national occupé par le *Rijkswaterstaat*, le niveau régional conservé par les *waterschappen* et le niveau local maintenu par les associations de fermiers.

L'amélioration des techniques et la structuration croissante de la gestion des eaux ont constitué les apports nécessaires à l'émergence de la figure de l'ingénieur. Imaginant des techniques d'endiguement et de drainage de plus en plus complexes, ces hommes ont pu, en temps voulu, s'appuyer sur une structure efficace et adaptée de la gestion des eaux. C'est ainsi

² littéralement : « conseils de l'eau »

³ ou en fille, comme en témoigne le roman de Marie Gevers, 1983, *La comtesse des digues*, Babel, Bruxelles, 202 p.

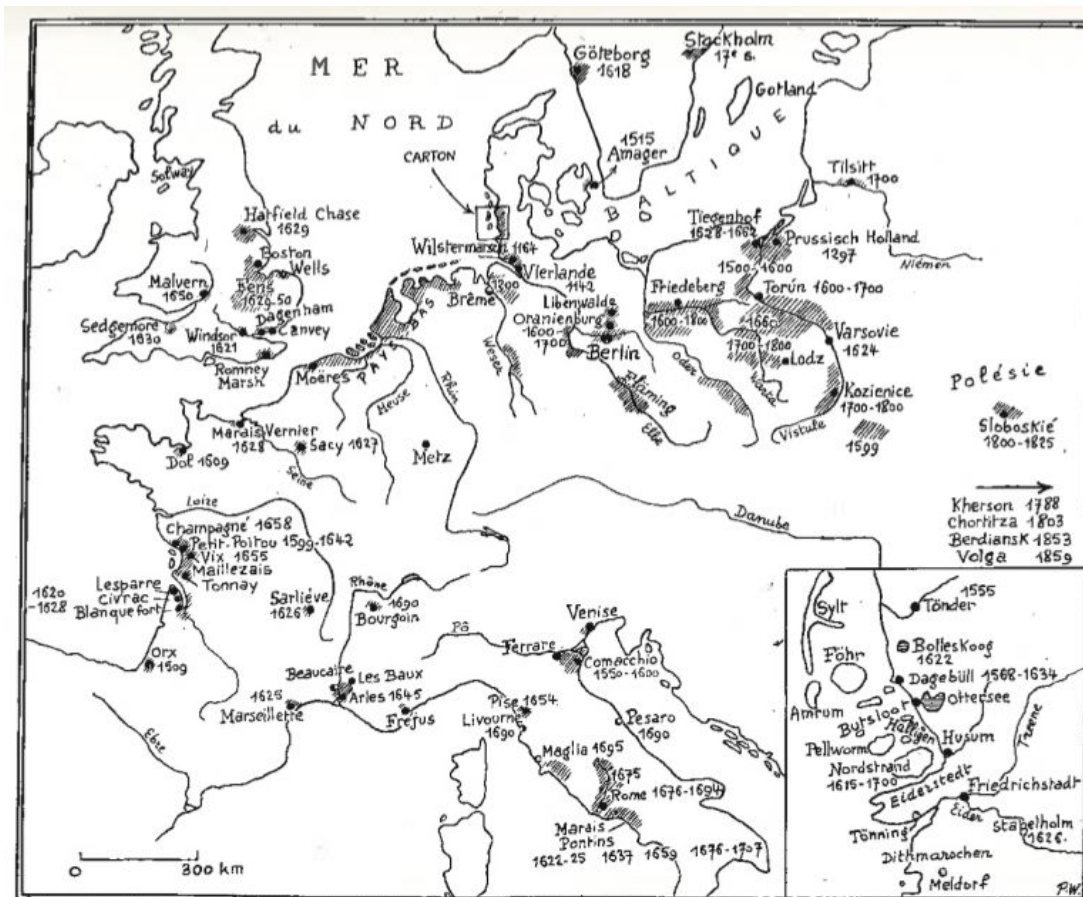
⁴ littéralement : département « national étatique de l'eau »

que ces hommes de terrain, comtes ou maîtres de digues bien souvent, ont marqué leur époque et le territoire national par les innovations techniques mises en œuvre. Bien que le terme d'ingénieur ne fût pas encore répandu au XVI^e siècle, A. Vierliegh est considéré comme l'ancêtre des ingénieurs hydrauliciens et les techniques déployées à l'époque n'ont pas manqué d'émerveiller d'autres ingénieurs tel J. Van Veen qui écrit en 1962 : « *Nous, ingénieurs du XX^e siècle, qui avons bénéficié d'un enseignement en hydraulique, sommes épatés de voir que nous pouvons tant apprendre de ces ancêtres qui ont vécu il y a 400 ans* »⁵ (Van Veen, 1962, p. 34). Andries Vierliegh a en effet beaucoup amélioré les techniques d'endiguement en réfléchissant notamment aux profils de digues les plus adéquats pour lutter contre l'érosion marine. Maître de digue consciencieux et humaniste, A. Vierliegh a rédigé à la fin de sa vie le *Traité des endiguements. L'Espoir des pauvres gens*. Découvert et publié en 1920, cet ouvrage « *fait preuve d'une hauteur de vues peu commune et se montre l'égal des plus grands esprits de son temps* » (Wagret, 1959, p. 92). Environ un siècle plus tard, J.A. Leeghwater (1575 – 1650) est le grand spécialiste du drainage des polders d'assèchement (Bertrand & Goeldner, 1999). Il se présente d'ailleurs comme constructeur de moulins et ingénieur (Van Veen, 1962). Le terme existe donc dès les années 1600. De même que A. Vierliegh, J.-A. Leeghwater a écrit deux petits livres résumant l'expérience d'une vie d'ingénieur. Mais avant même d'atteindre le recul nécessaire pour écrire ses mémoires, J.A. Leeghwater fût réclamé dans toute l'Europe du nord-ouest. C'est effectivement à partir de la seconde moitié du XVI^e siècle que l'influence de la technique néerlandaise s'est fait sentir.

3. *Les ingénieurs néerlandais, une figure incontournable de l'aménagement du littoral européen*

En effet, si Pline l'Ancien montrait une incompréhension presque méprisante à l'égard des Frisons du Nord, ces derniers, quelque seize siècles plus tard, suscitaient au contraire force d'admiration de la part des différents royaumes européens. Ainsi le pays était-il qualifié de « miracle hollandais » au XVII^e siècle (Wagret, 1959). Les Pays-Bas ont fait de la conquête des terres sur la mer et du drainage leur spécialité, qu'ils se sont appliqués à diffuser le plus largement possible. Dès le XII^e siècle et jusqu'au XVII^e siècle les techniques exportées relevaient principalement des assèchements et s'étendaient le long de pays voisins tels l'Allemagne ou le Danemark. Aux XV^e et XVI^e siècles, un véritable flux migratoire vers l'Est, encouragé par les persécutions religieuses au XVI^e siècle, se met en place. À partir du XVII^e siècle, l'influence néerlandaise prend de l'ampleur et va de la Suède jusqu'en Italie, et de l'Angleterre à la Russie (Van Veen, 1962).

⁵ « *We of the 20th century, who have had the benefit of instruction in modern hydraulics, are astonished that we can learn so much from an ancestor who lived 400 years ago* »



Carte 2 : Assèchements de terres réalisés par les ingénieurs hydrauliciens néerlandais aux XVII^e et XVIII^e siècles. *Source : Wagret, 1959.*

Parmi les ingénieurs célèbres ayant largement contribué à l'exportation du savoir et savoir-faire néerlandais, J.A. Leeghwater bien sûr, qui a multiplié les « polders de Hollande » dans la région bordelaise, Vermuyden dans le Yorkshire, mais aussi De Wilt, Van der Pellen, Meyer, Ven den Houten et bien d'autres encore. Humphrey Bradley est allé d'abord en Angleterre sur appel de la reine en 1589 pour drainer les Fens et marais de la côte est. Il a ensuite été appelé en France, dans le Poitou au début du XVII^e siècle par Henri IV. L'édit du 8 avril 1599, formulé par ce dernier, reflète bien l'exception hollandaise : « [...] *ne s'étant trouvé aucun de nos sujets qui nous en ai fait l'offre, Nous, jugeant cette œuvre très nécessaire... avons fait venir par devers nous Humphrey Bradley* » (Wagret, 1959, p. 106). C'est pourquoi le meilleur accueil était réservé à ces ingénieurs venus du Nord. Certains étaient nommés chevaliers, tous pouvaient adopter la nationalité de leur pays d'accueil. Cependant, les ingénieurs hollandais ont été confrontés à deux principaux obstacles venant entraver leurs travaux. Lorsque des guerres éclataient, les projets étaient bien souvent abandonnés et les ingénieurs oubliés. De plus, les paysans locaux s'opposaient régulièrement aux ordres formulés et sabotaient parfois les travaux entrepris (Garnier *et al.*, 2011). Contrairement aux Néerlandais, les Anglais et les Français n'avaient pas cultivé de façon aussi aigüe la notion d'intérêt général si bien que le drainage des terres ou la lutte contre les

submersions marines, bien qu'importantes, ne représentaient pas un enjeu vital comme c'était le cas aux Pays-Bas.

C'est pourquoi le cas néerlandais fait figure d'exception et se distingue nettement de la France et de l'Angleterre. La perpétuelle mise en commun des efforts du peuple néerlandais pour sauver ses terres des flots, la notion d'intérêt général très tôt défendue et reconnue comme vitale, confèrent à ce peuple des caractéristiques bien spécifiques. Au regard de l'histoire de ce pays, né en grande partie de la bêche, de la sueur et de la recherche constante du défi technologique, l'on peut qualifier « d'ingénieur » le peuple néerlandais tout entier.

B. La France et l'Angleterre ou le développement d'une ingénierie d'abord militaire et industrielle

1. Une moindre peur des tempêtes

Malgré la présence de fortes tempêtes depuis plusieurs siècles en Europe du nord-ouest, les populations anglaises et françaises n'ont pas eu à se préoccuper de protéger leur vie des submersions marines et inondations de façon aussi systématique qu'aux Pays-Bas. Au Moyen-Âge, l'impact de ces tempêtes passées se lit principalement à travers des textes du for privé⁶ et concernait surtout les marins disparus en mer (Garnier *et al.*, 2011). En Angleterre, l'assainissement des terres marécageuses des Fens et de l'estuaire de la Humber avait fait l'objet de nombreuses tentatives dès le XII^e siècle (Baron-Yellès *et al.*, 2001). Mais celles-ci étaient ponctuelles et bien souvent l'œuvre de moines isolés dont l'action n'était pas coordonnée ni soutenue par une organisation régionale ou nationale. Le *General Drainage Act*, voté en 1600, n'a d'ailleurs pas donné suite, par manque d'argent pour le financer. La finalité de ces conquêtes effectuées principalement par les moines était avant tout agricole, mais leur intérêt était par ailleurs relativisé par les avantages qu'offraient les milieux tourbeux et humides : de nombreux paysans y pratiquaient la pêche, la chasse et le droit de vaine pâture (Wagret, 1959). Un ouvrage produit par *The Institution of Civil Engineers* intitulé *Coastal defence* explique à propos de l'histoire des objectifs de défense côtière du pays que les travaux de protection côtière avaient uniquement répondu à des objectifs agricoles jusque dans les années 1800 et que les constructions d'habitations étaient jusqu'alors toujours établies sur des hauteurs inatteignables par les flots (ICE, 2002). De même, en France, lors de la rédaction d'un rapport, C. Masse, ingénieur cartographe du roi écrit : « Une tempête en 1711 jeta les flots à travers les terres après la rupture des digues chargées de les protéger. Des marais du Fier d'Ars, la mer fit de terribles dégâts et remplit les jars, les vasières et les vignes de sables et de graviers... » (Garnier *et al.*, 2011 p. 65). Les conséquences des tempêtes, ayant entraîné une submersion marine des terres basses, ont certes été parfois mortelles, mais les « terribles dégâts » mentionnés par l'ingénieur se limitaient au domaine matériel. Clément Lafaille, dans un mémoire publié en 1752, montre bien d'ailleurs l'attention relative, presque légère, portée à la protection côtière en France : « Si moins

⁶ Ces textes regroupent les livres de famille, les mémoires, les autobiographies, les journaux de toute nature (personnel ou « intime », de voyage, de campagne, de prison...) et, d'une manière générale, tous les textes produits hors institution et témoignant d'une prise de parole.

prudents que les peuples du Nord à (...) opposer [à la mer] des digues formidables, nous rions de ses entreprises, le moment n'est pas loin qui doit nous reprocher notre indolence » (Garnier *et al.*, 2011, p. 121). La protection du territoire contre les submersions marines, n'a jamais, dans l'histoire du pays, constitué une priorité. Pour autant les ingénieurs français ont compté parmi les grands acteurs de l'aménagement du territoire national, de même que leurs homologues anglais, mais de façon différente.

2. *Une ingénierie française développée d'abord au service de la maîtrise et de la défense du territoire national*

Si le territoire néerlandais a été conquis par la lutte contre les eaux, le territoire français l'a été par la guerre et les alliances nouées et dénouées au fil des siècles. Or ce vaste territoire, traversé en plusieurs jours, voire plusieurs semaines, nécessitait maîtrise et protection pour préserver son existence. En 1607, Henri IV, dont le royaume couvrait environ neuf dixièmes de l'hexagone, s'appropriait ce vaste espace en voyageant de châteaux en châteaux (Guy, 2008). S'il est alors encore trop tôt pour employer le terme de centralisation, une forte volonté d'unification territoriale existait dès cette époque. Celle-ci se manifestait principalement par l'exercice du pouvoir d'un seul souverain, conscient de la nécessité de connaître son territoire pour se l'approprier et ainsi mieux le protéger et l'exploiter. Ces efforts de rationalisation des frontières et d'unification du territoire furent couronnés de succès sous le règne de Louis XIV. Un demi siècle plus tôt, les actuels Pays-Bas se constituaient en une République des Sept Provinces Unies ; unies mais indépendantes les unes des autres et non gouvernées par un souverain unique. D'ores et déjà, outre des différences physiques majeures, l'on voit se dessiner des priorités politiques différentes, n'impliquant pas la même échelle de réflexion ni les mêmes besoins en termes d'ingénierie. Ainsi, bien qu'il existât en France dès le XV^e siècle des maîtres de digues chargés de veiller au bon entretien des ouvrages de protection, ces derniers édifices n'étaient constitués bien souvent que de simples levées de terre (Garnier *et al.*, 2011). Ce n'est que plus tard – au milieu du XIX^e siècle pour la Vendée par exemple - que les digues furent maçonnées selon les techniques importées de Hollande. Par conséquent la maîtrise technique de ces hommes n'était pas exactement comparable à celle des *dijkgraaf* hollandais : nombre de maîtres de digues étaient avant tout des paysans, et ne bénéficiaient pas du statut prestigieux des *dijkgraaf*, souvent futurs ingénieurs hydrauliciens.

Le prestige de la figure de l'ingénieur français doit se chercher ailleurs, précisément dans le domaine militaire. Afin de lutter contre les perpétuelles menaces d'invasions, notamment anglaises, et de débarquements tout le long du littoral atlantique, les ingénieurs français, Vauban en tête, ont fait de la construction de fortifications leur domaine de prédilection. C'est ainsi que le XVI^e et le XVII^e siècles ont vu naître ou se renforcer les places fortes à la fois sur le littoral mais aussi à l'est du royaume, marquant ainsi le « pré carré » français, c'est-à-dire la délimitation clairement établie des frontières du royaume. Le littoral français, à l'époque, ne constituait donc qu'une frontière militaire et n'était digne d'intérêt qu'à ce titre précisément. Vauban peut ainsi être considéré comme une figure historique de l'ingénierie française en ce sens qu'il a non seulement construit des places fortes, mais qu'il a également voulu « *uniformiser et normaliser les techniques de construction dans le domaine*

*des matériaux (briques aux mesures définies), des techniques (application du mortier), [...] »⁷. L'homme de terrain, aux compétences techniques remarquables et *a priori* complètes, s'est néanmoins heurté à plusieurs reprises à des obstacles relevant de l'assèchement de terres (dans la baie des Veys par exemple), domaine incontestable des ingénieurs néerlandais (Wagret, 1959). Afin d'établir son « pré carré », le royaume a donc formé des ingénieurs militaires, tels F. de Ferry, connu pour la construction de la citadelle de Bayonne en 1680, de l'arsenal de Rochefort en 1683 ou encore des murailles provisoires de La Rochelle en 1689 (Bousquet-Bressolier, 2003), mais comptait aussi sur des ingénieurs cartographes tels C. Masse, chargé de recenser, par le biais de cartes accompagnées systématiquement d'un mémoire, les lieux stratégiques sur le littoral pour de telles constructions (Sauzeau, 2007). Le travail du dessinateur, qui a dirigé lui-même de nombreux techniciens ou ingénieurs, répondait également au besoin de recenser les hommes et les ressources nécessaires à faire la guerre (Guy, 2008).*

Par la suite, la rationalisation du métier d'ingénieur, rendue possible par la création d'écoles d'État telles Les Ponts et Chaussées, a élargi les compétences des ingénieurs français : leur rôle prépondérant dans la défense nationale s'est étendu, à partir du XVIII^e siècle, à l'aménagement du territoire et à l'édification d'un réseau de plus en plus dense de voies de communication. C'est donc par une approche militaire et terrestre que les ingénieurs français ont contribué à l'aménagement du territoire national.

3. Les ingénieurs anglais ou la figure de la révolution industrielle

La région de la baie du Wash conserve les traces d'endigements et d'assèchements des Fens⁸ datant *a priori* de l'époque romaine (ICE, 2002). Les tentatives d'assèchement des Fens ont été nombreuses mais ponctuelles, restreintes et globalement infructueuses jusqu'au milieu du XVII^e siècle : « à la différence des Frisons, Flamands et Hollandais, les Anglais s'intéressaient peu aux digues maritimes. Pendant tout le Moyen-Âge, leur lutte contre la mer ou contre les eaux intérieures a revêtu un caractère quelque peu épisodique et incohérent » (Wagret, 1959, p. 79). Une fois encore, la solution technique est venue de Hollande et plus précisément de H. Bradley puis de C. Vermuyden, dont l'expérience comblait les lacunes anglaises : « Les hommes d'Église, qui ont tenu les monastères des îles des Fens, ont fait de multiples efforts pour poldériser les terres de leur district ; mais un travail de ce genre a été si rare en Angleterre qu'aucun homme n'avait l'expérience requise pour assurer le succès de cette technique »⁹ (Van Veen, 1962, p. 51). Par la suite, des ingénieurs anglais, tel J. Hunt, ont poursuivi les travaux de drainage des Fens, mais ces derniers étaient bien souvent confrontés au manque de structures compétentes et suffisamment solides pour financer ces travaux ambitieux au long cours (ICE, 2002). Il a fallu attendre en effet 1720 pour qu'apparaisse l'équivalent approximatif des *waterschappen* néerlandais (Wagret, 1959). Ce constat ne doit pourtant en aucun cas être assimilé à une absence des ingénieurs anglais dans l'aménagement

⁷ Café géographique tenu à Metz le 18 septembre 2008 par M. Virol et J. Boucon : « Vauban et la ville : un héritage à gérer ».

⁸ Les Fens, avant d'avoir été endigués, drainés puis cultivés, offraient un paysage brumeux et marécageux, fait de tourbe, de prés salés et de roseaux.

⁹ « *The old churchmen, who held the monasteries on the islands of the Fens, made numerous efforts to reclaim the land in their districts ; but work of this character had been so seldom carried out in England that no man had the experience which could have ensured success* »

de leur territoire. Le drainage des Fens et la conquête de terres figurent parmi les six grands domaines de l'ingénierie anglaise entre 1500 et 1830, comme le mentionne la préface du *Biographical Dictionary of Civil Engineers* (ICE, 2002). Simplement, les ingénieurs anglais ont d'abord répondu aux besoins prioritaires de construction de canaux et de ports pour le développement du commerce, de même qu'en France les ingénieurs ont d'abord servi des objectifs de défense du territoire national.

À partir du XVIII^e siècle, ces hommes ont connu un véritable âge d'or en développant une ingénierie civile au service de l'industrie. Définitivement tournés vers l'invention de machines industrielles, les ingénieurs civils anglais définissent leur profession comme étant « *l'art d'appivoiser les grandes forces de la Nature pour le besoin et la convenance de l'homme* »¹⁰ (ICE, 2002, p. XVII). Cette idée avait bien évidemment déjà émergé aux Pays-Bas avec l'invention des moulins à vent pour remplacer la force animale, voire humaine dans certains cas. Mais l'invention de la machine à vapeur a décuplé la puissance des systèmes de drainage néerlandais, augmentant considérablement leur efficacité. C'est à partir de cette époque que la région des Fens par exemple a pu être drainée efficacement et transformée en terres cultivables saines, de grande qualité (Van Veen, 1962).

Ce brossage historique succinct met en exergue la complémentarité des compétences développées par les ingénieurs anglais, français et néerlandais. Ces derniers ont développé très tôt une autorité en ingénierie hydraulique reconnue en Europe, relayée dès la fin du XVIII^e siècle par les ingénieurs civils anglais, dont les inventions ont permis une amélioration notable des techniques de drainage. De son côté, l'organisation en corps des ingénieurs français, couplée à une politique de centralisation héritée de l'époque napoléonienne, a eu une influence pérenne sur l'organisation de l'aménagement du territoire aux Pays-Bas.

Pour mieux comprendre les enjeux, parfois vitaux, défendus sans relâche par les ingénieurs des trois pays pendant des siècles, il est nécessaire d'exposer plus en détails le contexte climatique dans lequel ces ingénieurs ont opéré. De même, le paragraphe suivant explique la façon dont les trois pays ont pris en compte les prévisions du réchauffement climatique pour la région Nord-Ouest européenne annoncées dans le dernier rapport du GIEC (2014) et les conséquences attendues pour les côtes basses.

¹⁰ « *the art of directing the Great Sources of Power in Nature for the use and convenience of man* »

II. Trois pays, un contexte climatique commun ?

A. Une région de tempêtes

1. Formation et récurrence des tempêtes.

Le phénomène de tempête aux latitudes moyennes se définit par une vitesse de vent supérieure à 87 km/h, soit une force 10 sur l'échelle de Beaufort¹¹ et une trajectoire inscrite dans un flux d'Ouest (Tabeaud, 2007). La formation de vent correspond à un double facteur thermo-dynamique : différence de température entre les couches atmosphériques entraînant des mouvements d'air verticaux et différence de pression dans une même couche d'air, entraînant des mouvements d'air horizontaux. Cette combinaison permet l'apparition de deux tourbillons, l'un situé dans la tropopause à environ 9 km d'altitude, l'autre près du sol, toujours décalé à l'est du premier (Schoenenwald, 2013). Lorsque ces deux tourbillons prennent naissance dans ce que les climatologues européens ont baptisé le « rail des tempêtes » ou encore le « rail des dépressions » - large d'environ 4000 km et se formant dans la région de Terre-Neuve avant de traverser l'Atlantique - le courant jet stream, situé aux mêmes latitudes et à une altitude comprise entre 8 et 10 km, les nourrit et les entraîne. Le système dépressionnaire se transforme alors en tempête. Dans l'hémisphère nord et en période hivernale, une tempête se forme environ toutes les 24 heures. Si nombre d'entre elles meurent au dessus de l'océan Atlantique, les tempêtes atteignant la Grande-Bretagne puis le continent européen sont généralement puissantes puisque cette région, correspondant à l'extrémité est du jet stream, est la plus favorable à leur amplification (Bessemoulin, 2002).

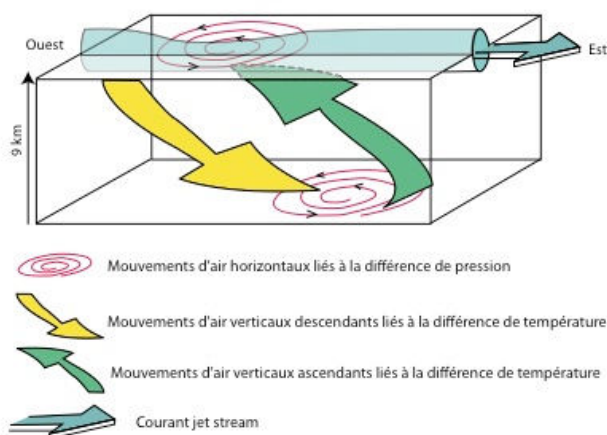


Figure 2 : formation des tempêtes en Atlantique Nord.

Source : site Météo-France, modifié.

Le Nord-Ouest de l'Europe est donc particulièrement vulnérable aux tempêtes, et ce depuis plusieurs siècles. En se référant aux dégâts inventoriés dans la littérature depuis le XVI^e siècle puis, dès la fin du XVIII^e siècle, aux mesures des pressions atmosphériques,

¹¹ Cette échelle de mesure de la vitesse moyenne du vent pendant 10 minutes comporte 13 degrés allant de 0 à 12.

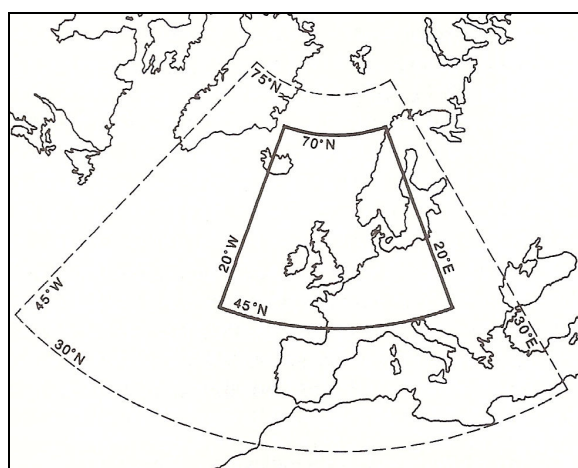
H. Lamb a répertorié 166 tempêtes ayant affecté la mer du Nord, les îles britanniques et l'Europe du Nord-Ouest depuis le XVI^e siècle. Pour mieux les classer, l'auteur leur a attribué un indice de sévérité (SSI : Storm Severity Index), calculé en fonction de la vitesse maximale atteinte par les vents (V_{max}), l'aire maximale couverte par la tempête (A_{max}) et sa durée (D), puis les a regroupées en six classes sans toutefois donner plus de précisions sur le calcul des bornes de classes.

$$SSI = V_{max}^3 \times A_{max} \times D$$

Le tableau 5 comptabilise le nombre de tempêtes en fonction de leur date d'apparition et de leur intensité pour la zone nord-ouest de l'Europe, comprise entre 45° et 70° N et 20°W et 20°E.

périodes	Classes de sévérité des tempêtes (selon l'indice de sévérité)					
	I (5000 et +)	II (1800 à 4000)	III (700 à 1700)	IV (300 à 600)	V (150 à 250)	VI (100 et -)
1570-99	6	1	1	1	0	0
1600-49	3	0	0	0	0	0
1650-99	1	1	1	0	0	0
1700-49	2	3	4	3	0	0
1750-99	2	4	2	4	1	0
1800-49	2	2	3	5	3	2
1850-99	4	5	3	1	5	0
1900-49	0	12	4	5	5	2
1950-99	4	3	7	6	10	1
Total	24	31	25	25	24	5

Tableau 5 : Nombre de tempêtes répertoriées entre 1570 et 1989 en Europe du Nord-Ouest, en fonction de leur indice et classe de sévérité. *Source : d'après H. Lamb, 1991.*



Carte 3 : Localisation de la zone de recensement des tempêtes, comprise entre 45° et 70° N et 20°W et 20°E. *Source : H. Lamb, 1991.*

Les classes I et II réunissent plus du tiers des tempêtes (55 sur 134), ce qui reflète leur dangerosité dans cette région. À une échelle plus fine, cette observation se confirme, de même

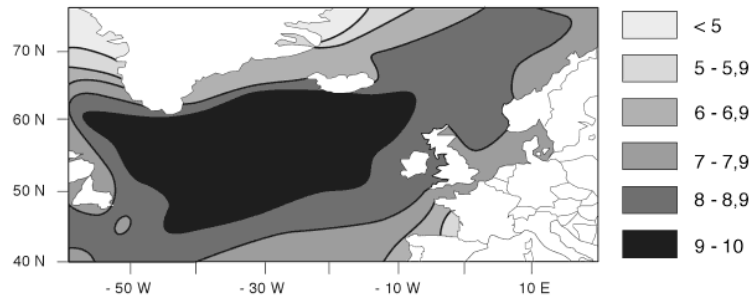
que l'orientation majoritairement ouest-est des vents. Dans la Manche, près de la moitié des tempêtes enregistrées entre 1570 et 1989 étaient de classe I ou II tandis que 35 % d'entre elles avaient une orientation sud-ouest et 30 % une orientation ouest. Au sud de la mer du Nord (sous les 55°N), 42 des 78 tempêtes enregistrées à partir de la même époque relevaient également des classes I et II. En revanche, si les vents décrivent une même trajectoire ouest-est, le gradient nord-sud est plus large que dans la Manche : 28 % des tempêtes avaient une orientation sud-ouest et ouest et 21,5% avaient une orientation nord-ouest (Lamb, 1991).

D'autres méthodes de classification des tempêtes ont été utilisées depuis lors, tenant compte non plus de la vitesse maximale du vent mais par exemple des conséquences du vent sur les arbres et les bâtiments ou encore du champ de pression journalier. Ce choix est justifié par M. Tabeaud *et al.* : « [...] l'anémomètre ne se stabilise pas à une vitesse donnée, même au bout d'un certain temps. L'indication de points de vent est donc peu significative. Il vaut mieux lui préférer une moyenne sur six ou dix minutes » (Tabeaud *et al.*, 2009, p. 319). De même en 2013, N. Schoenenwald pose la question du degré de dévastation des tempêtes comme modalité de classification : « des tempêtes de mêmes caractéristiques météorologiques pouvaient dans certains cas être entrées dans la mémoire collective en raison de leurs dévastations. D'autres, de même puissance mais moins dévastatrices [...] ont été totalement oubliées » (Schoenenwald, 2013, p. 12). Enfin, les tempêtes étant liées à la formation d'un système dépressionnaire, il est également possible de les classer selon le champ de pression présent. Il s'avère que les tempêtes recensées en France et dans les îles britanniques entre 1885 et 2011, pour des pressions comprises entre 966 hPa (dépression creuse) et 995 hPa (dépression faiblement creusée), représentent plus de 70 % de la série. Les tempêtes associées à des dépressions très creuses (entre 951 et 965 hPa) sont plus rares et ne représentent que 17 % de la série (Schoenenwald, 2013).

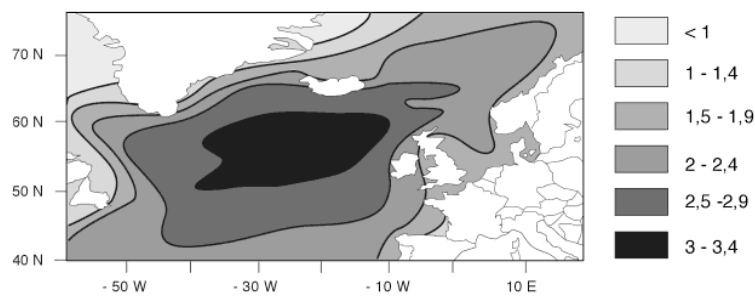
Il ressort de ces différents recensements et classements que les tempêtes, qu'elles soient plus ou moins sévères, plus ou moins mémorables, caractérisent fortement la région nord-ouest européenne et leur fréquence a contribué à modeler progressivement le littoral nord-ouest européen en renforçant des phénomènes d'érosion et de submersion marine.

2. Brève description des mécanismes d'érosion et de submersion

La dépression atmosphérique caractéristique des tempêtes, engendre un gonflement de la surface océanique, à l'origine des lames ou ondes de tempêtes (Paskoff, 2001). Les lames de tempêtes formées en Atlantique Nord, sont ainsi dirigées par des vents forts de direction ouest-est vers les côtes européennes.



Carte 4a : moyennes annuelles de vitesse de vent en m/s.
 Source : Wasa, 1998, in Tabeaud, 2007



Carte 4b : moyennes annuelles de hauteur de vague en m.
 Source : Wasa, 1998, in Tabeaud, 2007

La corrélation entre vitesse du vent et hauteur de vague est donc très forte comme l'indiquent les cartes 3a et 3b. En mer du Nord et dans la Manche, les vitesses moyennes annuelles de vent sont comprises entre 7 et 7,9 m/s, engendrant des hauteurs de vague de 1,5 à 1,9 m. À l'approche des côtes, les ondes marines subissent par ailleurs des déformations liées au relèvement des fonds marins - déformations particulièrement accentuées au sud de la mer du Nord par le resserrement des côtes anglaises, néerlandaises, belges et françaises. Ces déformations provoquent l'augmentation de la hauteur des vagues et par conséquent leur pouvoir érosif lorsque celles-ci se brisent au pied des falaises et des digues, ou remontent la pente des dunes. Dans le cas des côtes dunaires ou endiguées, la force des vagues peut créer un phénomène d'affouillement, voire ouvrir de larges brèches dans la dune ou la digue de mer. La hauteur des vagues peut, pour sa part, engendrer un phénomène de surverse, c'est-à-dire de submersion d'un ouvrage de défense par la tranche supérieure des eaux, submergeant ainsi l'arrière littoral. Ainsi le dimensionnement de la pente externe des digues de mer doit répondre prioritairement à la force des vagues, tandis que le revêtement de la pente interne de la digue doit résister à l'érosion provoquée par le phénomène de surverse et la hauteur de la digue dominer celle des vagues.

Par ailleurs, le vent accompagnant l'onde de tempête contribue à l'érosion des systèmes dunaires. Il mobilise dans un premier temps le sable sec dont les grains s'accumulent plus en amont, puis transporte en masse les nouvelles petites dunes formées (Regnauld, 1999). Les profils de plage sont ainsi soumis à des variations saisonnières. En période de calme, correspondant généralement à la saison estivale, la plage fait l'objet d'une

accumulation sédimentaire. Au contraire, pendant l'hiver, en période tempétueuse, le haut de plage subit un démaigrissement (MEEDDM, 2010).

Enfin, la dérive littorale – « flux de sédiments sensiblement parallèle au rivage, en proche côtier, résultant de différentes causes : houle, courant, vent » (MEEDDM, 2010, p.277) – provoque également des transferts de sédiments au sein de cellules hydrosédimentaires. Ces dernières correspondent à « un compartiment côtier [contenant] un cycle complet de sédimentation comprenant une zone source (d'érosion), une zone en équilibre dynamique puis une zone en accrétion [ou zone de dépôt] » (Louati *et al.*, 2009, p. 214). Les points d'inversion de la dérive littorale les délimitent latéralement. La profondeur de fermeture - profondeur au-delà de laquelle la mobilité des sédiments induite par les effets de houle et de courants, est quasiment nulle - détermine leur limite marine. Le trait de côte, leur limite terrestre.

3. Des côtes basses vulnérables

L'érosion côtière est un phénomène naturel grâce auquel les paysages côtiers se sont modelés au fil des siècles. Toutefois, l'intensité de cet aléa peut être renforcée par des facteurs morphodynamiques locaux et des facteurs d'origine anthropique, rendant les côtes basses particulièrement vulnérables.

La pente de la plage et la bathymétrie de l'avant plage jouent un rôle majeur dans la dissipation ou le réfléchissement de l'énergie de la vague et par conséquent sur son pouvoir érosif. En 1993, G. Masselink et A.D. Short ont proposé une typologie morphodynamique des plages en milieu macrotidal, tenant compte de la modulation spatiale des processus hydrodynamiques de l'estran. Pour ce faire, les auteurs ont pris en compte deux indices adimensionnels : la vitesse de chute des particules et le marnage relatif (Masselink, Short, 1993, *in* Dehouck, 2006).

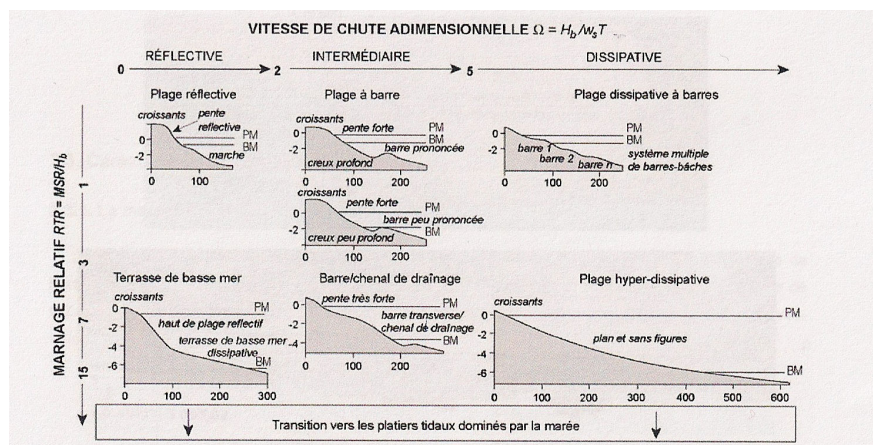


Figure 3 : Classification morphologique des plages selon la vitesse de chute adimensionnelle et le marnage relatif.

Source : Dehouck, 2006, d'après Masselink et Short, 1993.

La figure 3 décline les états morphologiques des plages allant des plages réfléchives aux plages dissipatives en passant par le stade intermédiaire. Cette classification a été établie en

fonction du marnage relatif (RTR) et de la vitesse de chute adimensionnelle (Ω), c'est-à-dire la vitesse de chute des particules (w_s), la hauteur de vague (H_b) et leur période (T). Ainsi, plus la plage est réfléchive ou au contraire dissipative, plus le profil de plage est stable et peu soumis à érosion même en cas de fortes tempêtes. De façon inverse, plus la plage se rapproche du stade intermédiaire, plus son profil est dynamique et sensible à l'érosion (Dehouck, 2006).

Mais la cause principale de l'amplification de la vulnérabilité des côtes basses relève de facteurs anthropiques. L'engouement pour le littoral, devenu massif durant la seconde moitié du XX^e siècle, a provoqué une multiplication des usages et par conséquent une concurrence sans précédent des activités et des biens sur un espace restreint et dynamique : construction anarchique de maisons au sommet des dunes, en haut de plage, derrière des digues de mer créées à l'origine pour protéger des terres agricoles etc. Ces nouveaux obstacles offerts aux vagues et au vent ont subi une érosion mécanique et chimique et ont dû être protégés par des ouvrages d'ingénierie « de défense contre la mer ». C'est ainsi que les digues, les épis, les brise-lames ou les enrochements se sont multipliés. Si leur efficacité pour résoudre un problème local a été démontrée, leur impact à l'échelon supérieur ou à l'échelle de la cellule sédimentaire n'a pas toujours été maîtrisé, et la présence même de ces ouvrages a déplacé - parfois aggravé - le problème d'origine. Ainsi, nombre de plages telles celles de l'île de Sylt en Allemagne ont finalement fait les frais (plus que bénéficié) d'une consolidation croissante de leur mur de protection, comme l'indique la figure 4. Sur un profil de plage de 30 m de long, seuls 3 m avaient été fixés en 1912. En 1970, 26 m sur 30 ont finalement été fixés par une succession d'enrochements. Cette évolution montre bien le manque d'efficacité à long terme d'une telle démarche.

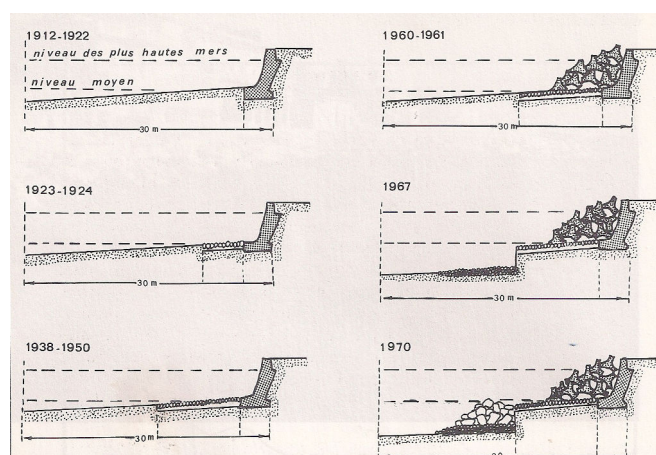


Figure 4 : L'histoire du mur de protection du rivage de Westerland, île de Sylt, Allemagne, de 1912 à 1970. Source : Paskoff, 1993, d'après Führböter, 1976.

Dans son ouvrage *Côtes en danger* (1993), R. Paskoff retrace les conséquences en chaîne de l'implantation d'un mur de protection statique au sein d'un milieu hautement dynamique en constante évolution, qui ne fait autre qu'appeler à terme l'implantation d'épis puis de brise-lames :

*« Le plus souvent, le recours aux ouvrages de défense se fait à la hâte, au coup par coup, dans le désarroi engendré par les dégâts dus à de fortes tempêtes. Pour mettre désormais à l'abri de l'action érosive des vagues des constructions, qui dans la plupart des cas, avaient été imprudemment placées trop près du trait de côte, on choisit la plus simple et la moins coûteuse, la plus rapide aussi des solutions : l'édification d'un mur de défense ou d'un cordon d'encrochement pour fortifier le rivage. La protection s'avère souvent réelle, ce qui encourage à bâtir davantage à proximité de la mer. Mais, bientôt, la plage souffre de l'obstacle et commence à perdre de sa substance. On ajoute alors des épis pour arrêter le démaigrissement. Le transit latéral de sables et de galets étant ainsi freiné, l'avantage est repris par les mouvements de sédiments perpendiculaires à l'estran. Pour réduire la perte vers le large et atténuer l'impact des vagues sur le rivage, il reste encore la possibilité de construire des brise-lames ».*¹²

D'autres équipements, visant à endiguer les cours d'eau ou à les entraver par des barrages, ont par ailleurs contribué à limiter les apports sédimentaires d'origines continentale et fluviale et donc à renforcer indirectement l'érosion des côtes basses. Ainsi que l'indique l'auteur, l'ensemble de ces ouvrages de défense n'a finalement pas permis de répondre aux deux causes majeures de l'érosion à l'échelle mondiale : la diminution de la quantité de sédiments disponibles sur les côtes et l'élévation du niveau marin.

Enfin, la vulnérabilité des côtes basses tient aussi aux densités démographiques toujours croissantes qu'elles abritent. Ainsi, les risques littoraux sont d'autant plus importants qu'ils concernent désormais une part des populations néerlandaise, anglaise et française de plus en plus grande.

La région nord-ouest européenne présente donc une certaine homogénéité climatique et partage une longue histoire de tempêtes particulièrement dangereuses. Ainsi le GIEC a-t-il consacré un chapitre commun sur l'avenir climatique des trois pays étudiés (IPCC, 2014, vol. 2, chapitre 23).

¹² Paskoff R., 1993, *Côtes en danger*, Masson, Paris, p. 82.

B. Des prévisions climatiques communes aux trois pays selon le GIEC

Quel que soit le scénario d'émission envisagé parmi les quatre proposés par le dernier rapport du GIEC¹³, les projections établies pour l'Europe du nord-ouest pour la fin du XXI^e siècle indiquent une augmentation des températures, des précipitations et de la vitesse des vents. Cette tendance générale aura pour conséquence inévitable de renforcer l'élévation du niveau marin déjà engagée. Toutefois, une absence de consensus demeure quant à l'augmentation consécutive de la fréquence et de l'intensité des tempêtes pour cette région. L'indice de confiance concernant la possible augmentation des surcotes de tempête en mer du Nord est moyen, tandis que de l'augmentation de la vitesse des vents extrêmes en hiver et la stabilité ou l'augmentation du nombre de tempêtes pour les Pays-Bas et le sud de la mer du Nord a été défini avec un indice de confiance faible (IPCC, 2014, vol. 2, ch. 23).

1. Une élévation accélérée du niveau marin, mais des projections incertaines sur son ampleur pour le XXI^e siècle.

Les données marégraphiques – bien que relativement peu précises car inégalement distribuées à la surface terrestre et difficiles à analyser (Paskoff, 2001) – ont indiqué une élévation moyenne du niveau marin de 15 cm pour le XX^e siècle, soit une élévation moyenne annuelle comprise entre 1 et 2 mm par an. L'altimétrie spatiale, mise en œuvre depuis 1992 grâce au satellite Topex-Poséidon, a montré un renforcement de ces valeurs : + 2 mm par an entre 1971 et 2010 et + 3,2 mm par an entre 1993 et 2010 (IPCC, 2013¹⁴). Cette accélération devrait se poursuivre pour les décennies à venir selon le GIEC qui prévoit dans son dernier rapport une élévation moyenne du niveau des mers très probablement comprise entre + 28 cm et + 98 cm pour l'horizon 2100, tous scénarios confondus (IPCC, 2013). L'amplitude relativement large de ces projections est à la mesure des incertitudes scientifiques non levées et dépend du scénario choisi. Toutefois, certaines corrélations sont aujourd'hui admises par la communauté scientifique comme ayant un rôle majeur dans la variation du niveau marin moyen.

Deux grands facteurs contribuent à faire varier le niveau moyen des mers. L'augmentation de la température à la surface terrestre d'une part et, l'Oscillation Nord Atlantique (ONA) pour ce qui concerne la région nord-ouest européenne d'autre part.

Le réchauffement de la couche atmosphérique la plus basse provoque en effet un réchauffement de la tranche superficielle des eaux océaniques et par conséquent une dilatation thermique de la masse océanique. Or la dilatation thermique de l'eau océanique superficielle joue pour plus de la moitié dans l'élévation du niveau marin. De même, le réchauffement des températures joue sur la fonte des glaciers de montagne avec un décalage d'une vingtaine d'années et compte pour un tiers environ dans l'élévation du niveau marin (Paskoff, 2001).

¹³ Du moins sévère (la population mondiale plafonne en 2050, et la structure économique se tourne rapidement vers une économie de service et d'information et un développement global durable) au plus pessimiste (correspondant à une exploitation intensive des énergies fossiles) : RCP2,6 < RCP4,5 < RCP6 < RCP8,5 (RCP : Representative Concentration Pathways).

¹⁴ GIEC, *Changements climatiques 2013. Les éléments scientifiques. Résumé à l'intention des décideurs*, p. 9.

Dans les projections d'élévation du niveau moyen des mers établies par le GIEC, la part de ces phénomènes a été prise en compte respectivement pour 30 à 55 % et 15 à 35 % (IPCC, 2013). Enfin, les questions relatives à la vitesse de fonte de l'inlandsis groenlandais – qui dépend également du scénario envisagé – ajoutent aux incertitudes des projections établies pour l'Europe.

Par ailleurs, des efforts d'intégration de l'Oscillation Nord Atlantique (indice ONA) ont été faits entre les modèles utilisés par le GIEC dans le rapport de 2007 et celui de 2013. Le dernier rapport indique en effet que « *de récentes études d'observations et de modélisations ont confirmé que la couche basse de la stratosphère joue un rôle important dans l'explication des tendances à long terme du ONA*¹⁵ » (IPCC, 2013, rapport technique, p. 1214). Ce phénomène atmosphérique et océanique est provoqué par l'oscillation de masses d'air depuis les régions arctiques et islandaises jusqu'aux Açores et à la péninsule ibérique. Il a pour conséquences des changements de pression au sol, des variations des vents d'ouest moyens, des influences sur les précipitations et les températures tout autour du bassin atlantique et en Europe¹⁶. Cependant, bien que les connaissances de ce phénomène se soient améliorées, les difficultés de sa prise en compte dans les modèles persistent.

2. Évolution des événements tempétueux

L'analyse des séries séculaires met en exergue une forte variabilité du nombre annuel de tempêtes. Les recherches de Jones *et al.* entre 1881 et 1997 n'indiquent pas de renforcement du nombre de jours de fortes rafales au Royaume-Uni avant 1960 (Jones *et al.*, 1999, *in* Tabeaud, 2007). De même, Alexandersson *et al.* notent, à partir de 1965, une augmentation rapide des tempêtes en mer du Nord et dans le secteur des îles britanniques (Alexandersson *et al.*, 1998, 2000, *in* Tabeaud, 2007). Cependant, selon H. Lamb, l'alternance de périodes caractérisées par la présence de tempêtes avec des périodes à faible tempétoosité, ne permet pas d'établir une tendance nette à long terme : « *La récente augmentation de fréquence des grandes tempêtes et des centres dépressionnaires particulièrement bas – depuis 1950 environ, mais particulièrement remarquables durant les dernières décennies – présente quelque parallèle avec les tempêtes intenses répertoriées dans [cette région] vers 1880 et 1890. [...] de même il y a eu d'autres points culminants de tempêtes dans cette région dans les années 1570 et 1790* »¹⁷ (Lamb, 1991, p. 33). À travers le recensement de près de 2500 tempêtes survenues en France et/ou dans les îles britanniques entre 1864 et 2012, N. Schoenenwald montre également que l'augmentation du nombre de tempêtes à partir de la décennie 1960 - avec un maximum d'environ 175 tempêtes pour les années 1980 - n'approche pas la fréquence des tempêtes de la fin du XIX^e siècle : 275 pour la seule décennie de 1880 (Schoenenwald, 2013).

¹⁵ « *Recent observational and modelling studies have helped to confirm that the lower stratosphere plays an important role in explaining [...] long-term trends in NAO* »

¹⁶ www.ifremer.fr/lpo/thuck/nao/nao2.html

¹⁷ « *The recent increase in frequency of great storms and very deep low pressure centres – since about 1950, but particularly noticed in the last decades – has some parallel in the very intense storms and lower pressures noted in some of the storms in our region in the eighteen-eighties and nineties. [...] there were other impressive climaxes of storminess in this region in the 1570 to 1620s period and in the 1690s to early 1700s and again in the 1790s* »

Par ailleurs, la part des trois facteurs (l'indice ONA, l'indice OA et le réchauffement planétaire) pris en compte actuellement pour expliquer la survenance des événements tempétueux n'est pas clairement établie (IPCC, 2013). L'Oscillation Nord Atlantique est en phase positive depuis 1980, c'est-à-dire que « *le rail des perturbations est très actif et [que] sa trajectoire glisse vers le nord de l'Europe* », ce qui renforce les vents d'ouest subpolaires (Tabeaud, 2007, p. 378). De même, L'Oscillation Arctique, autre indice de variabilité climatique calculé à partir de la pression atmosphérique normale au pôle nord, est en phase positive depuis la même décennie. Il existe donc un décalage de vingt ans entre le début du renforcement observé des tempêtes et l'entrée en phase positive des deux indices. Le réchauffement planétaire, troisième facteur explicatif, devrait en théorie s'accompagner d'une augmentation en fréquence et en intensité des tempêtes en mer du Nord. Cependant, M. Tabeaud indique que tous les processus intervenant dans la formation d'une tempête ne sont pas simultanément pris en compte par les modèles de prévisions et que par conséquent « *aucun consensus ne se dégage sur le lien entre le réchauffement planétaire attendu et l'augmentation de fréquence et d'intensité des perturbations tempétueuses en Atlantique nord* » (Tabeaud, 2007, p. 380). Ainsi, ce qui est présenté comme une tendance récente pourrait tout aussi bien s'apparenter à une fluctuation pluridécennale. Le rapport de synthèse du GIEC de 2007, de même que le chapitre 14 du rapport de 2013, vont dans ce sens en exposant la difficulté à distinguer une simple variation décennale d'une amorce de changement de régime des tempêtes.

Pourtant, malgré ces incertitudes conséquentes, le chapitre 12 du rapport du GIEC de 2007, consacré aux projections européennes, avance une augmentation probable des vents extrêmes pour le nord-ouest du continent. Beniston *et al.* projettent une augmentation de la vitesse de vents pour les latitudes comprises entre 45°N et 55°N, ayant pour conséquence une augmentation des ondes de tempête sur les côtes de la mer du Nord, et plus particulièrement aux Pays-Bas (Beniston *et al.*, 2007, in GIEC, 2007). Meier *et al.* et Räisänen *et al.* précisent que sous les scénarios A2 et B2¹⁸ l'augmentation de la vitesse des vents et de l'intensité des tempêtes seront effectives en Atlantique Nord-Est au moins jusqu'en 2030 (Meier *et al.* 2004 et Räisänen *et al.*, 2004, in GIEC, 2007). Dans cette même région il est indiqué en revanche que la fréquence des événements tempétueux tendrait à diminuer pour les décennies à venir. Le chapitre 23 du dernier rapport du GIEC, consacré à l'Europe, reste sur la même note indiquant, avec un indice de confiance bas, une faible augmentation de l'intensité des vents extrêmes dans la région (IPCC, 2013).

La seule certitude qui ressorte de cette analyse est précisément l'incertitude scientifique des projections décrites. Mais que la fréquence à venir des tempêtes soit accrue ou non, les risques littoraux existent d'ores et déjà et Xynthia a montré que leur gestion n'est pas idéale... Toutefois, dans l'hypothèse d'une réalisation de ces projections, il semble nécessaire de se pencher plus avant sur les conséquences éventuelles qu'elle impliquerait pour les littoraux nord-ouest européens, notamment dans les champs environnemental et socio-économique.

¹⁸ 6 scénarios étaient utilisés dans le rapport de 2007 selon le classement suivant, allant du plus optimiste au plus pessimiste : B1<A1T<B2<A1B<A2<A1F1

3. Conséquences environnementales et socio-économiques sur les systèmes côtiers et marins

Une augmentation de l'intensité et de la fréquence des tempêtes entraînerait une augmentation proportionnelle des surcotes, « *élévations exceptionnelles et temporaires du niveau de la mer, liées à des phénomènes météorologiques (basses pressions atmosphériques, vents forts soufflant vers la côte) qui caractérisent la crue ou l'onde de tempête* » (Paskoff, 2001, p. 160). Couplé à une augmentation de la température de la surface des eaux, ce phénomène physique aura de nombreuses conséquences négatives mais aussi positives sur les sociétés et les écosystèmes de la région nord-ouest européenne. Le rapport *Climate change, impacts and vulnerability in Europe* de l'Agence Européenne de l'Environnement indique un bénéfice potentiel de ce changement pour plusieurs régions du nord et de l'ouest de l'Europe, en particulier pour ce qui concerne le rendement agricole (EEA, 2012).

a. Conséquences physiques

Les surcotes engendrées par les événements tempétueux, additionnées à une élévation du niveau des mers, auront pour conséquence une augmentation de l'érosion côtière et des submersions marines dans les estuaires, les baies et les deltas. Le chapitre 12 du rapport du GIEC de 2007 estime par exemple que la côte reculera de 0,5 à 1 mètre par an pour la côte atlantique la plus soumise aux tempêtes (Cooper *et al.*, 2004 et Lozano *et al.*, 2004, *in* GIEC, 2007). L'ordre de grandeur de ces chiffres est confirmé dans le rapport de 2014. En 2005, l'Agence Européenne de l'Environnement estimait que 12% des côtes européennes – en tenant compte d'une bande littorale terrestre de 10 km – étaient actuellement situées sous les 5 mètres d'altitude. Une élévation d'un mètre du niveau des mers pourrait ainsi engendrer un fort risque de submersion marine pour 13 millions de personnes, le pays le plus vulnérable théoriquement étant les Pays-Bas (EEA, 2005).

Par ailleurs, l'augmentation des submersions marines entraînera une perte conséquente des espèces animales et moindre des espèces végétales (80% des 2000 espèces animales et 5% des espèces végétales présentes en Europe d'ici 2050 (EEA, 2005)) ainsi qu'une disparition de 14 % des habitats littoraux (EEA, 2012). Robert J. Nicholls estime à 20% la perte totale des prés salés d'ici 2080 – perte principalement due au phénomène de « *coastal squeeze* » (Nicholls, 2004, *in* GIEC, 2007). Ce dernier implique un rétrécissement de la zone intertidale, résultant de la combinaison de la remontée du niveau marin et de la présence de barrières permanentes de protection (d'origine naturelle ou anthropique telles les digues), empêchant la migration de la zone intertidale, et par conséquent des prés salés, plus en amont vers les terres (Hasslett, 2008).

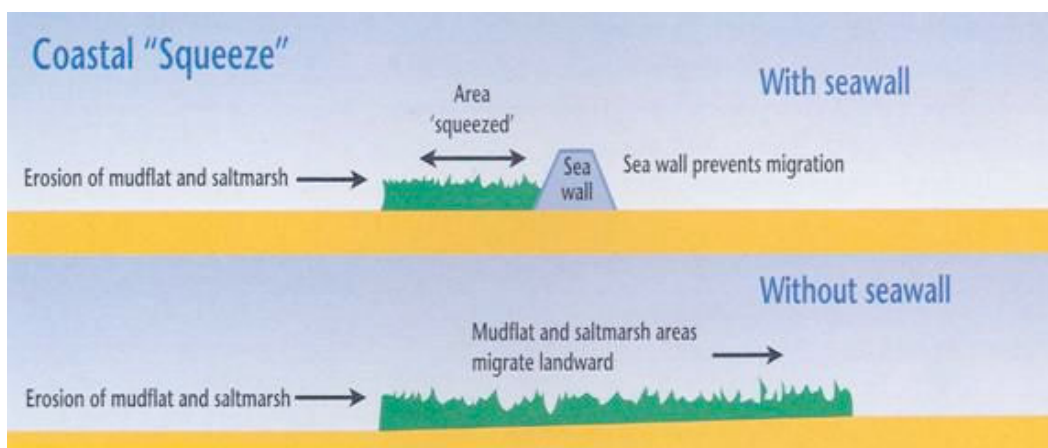


Figure 5 : Schématisation du phénomène de « coastal squeeze ». Source : Environnement Agency, 2010

L'élévation du niveau marin et la présence de protections dites « dures » telles les digues, empêchent toute possibilité pour les prés salés et les habitats qu'ils comportent, de migrer plus en amont vers les terres. Cette pression sur les écosystèmes littoraux sera également accompagnée d'un risque d'eutrophisation croissante et de l'apparition d'espèces invasives, principalement expliquée par le réchauffement de la couche superficielle des eaux océaniques et marines.

b. Conséquences socio-économiques

L'Agence Européenne de l'Environnement indique pour l'Europe du nord-ouest que le réchauffement climatique aura certes des impacts négatifs sur certaines activités économiques telles la pisciculture, l'agriculture ou le coût des assurances pour les habitations situées en bord de mer, mais que cette région pourra également bénéficier dans une certaine mesure des effets de cette évolution. Plusieurs géographes, dont M. Tabeaud, défendent cette vision des choses : « *s'acclimater signifie maximiser les bénéfiques* » et savoir reconnaître les « *avantages [qui] existent presque partout, à condition de choisir de regarder « le verre à moitié plein »* » (Tabeaud, 2009 b, p. 38).

Une augmentation de la température des eaux de surface engendrera *a priori* une augmentation chronique de la pollution des eaux marines et par conséquent une réduction de la reproduction des poissons (EEA, 2012). En revanche, elle entraînera également une augmentation de la productivité primaire - source primordiale de nourriture pour les poissons - ce qui viendra compenser dans une certaine mesure le déficit de reproduction des poissons (IPCC, 2014). De même, cette hausse des températures permettra l'apparition de nouvelles espèces qui auront migré du sud vers le nord, engendrant ainsi des bénéfiques nouveaux. *A contrario*, le cabillaud, poisson d'eau froide et pour lequel le réchauffement des eaux de la mer du Nord sera sans doute trop important, migrera plus au nord, créant un manque à gagner (EEA, 2012). Les submersions marines impliqueront par ailleurs une salinisation croissante des terres ainsi qu'une perte de terres arables en bordure littorale. Cependant, le réchauffement du climat permettra d'allonger la période de croissance des cultures et d'améliorer leur productivité et leur rendement. C'est le cas en particulier du blé pour l'Europe du nord-ouest (IPCC, 2014).

Le réchauffement climatique modifiera les destinations touristiques mais aussi le rythme des congés. Le dernier rapport du GIEC projette par exemple un décalage vers le nord des destinations touristiques. Les côtes britanniques devraient ainsi bénéficier d'une augmentation du nombre de touristes, ce qui aura des conséquences positives évidentes sur l'économie du royaume. En revanche, cette évolution impliquera une pression touristique accrue sur les littoraux anglais, qui, si elle est mal prise en compte, renforcera la vulnérabilité des populations littorales. Cependant, un réchauffement des températures permettra également d'étaler les congés des vacanciers et de répartir cette pression touristique attendue sur plusieurs mois (IPCC, 2014).

Enfin, un volet important des conséquences socio-économiques du réchauffement climatique concerne les assurances. L'augmentation de leur coût sera inévitable en raison de la plus forte soumission des bâtiments et infrastructures à l'érosion et à la submersion. Mais les incertitudes persistant sur l'ampleur de l'élévation du niveau marin tout au long du XXI^e siècle et le changement du régime de tempête sont autant de difficultés pour prévoir l'ampleur consécutive du coût des assurances. Les projections indiquent pour 2080 une augmentation générale du coût des dommages, mais aussi une forte variation selon le scénario envisagé et au sein d'un même scénario (sous le scénario RCP6, les coûts moyens annuels peuvent aller du double à 17 fois les coûts actuels si l'on tient compte de la croissance économique) (IPCC, 2014). Afin de réduire la fourchette de ces estimations, certains assureurs tels la Maïf se sont rapprochés des chercheurs pour tenter de mieux caractériser et donc prévoir les coûts et surcoûts liés aux conséquences du réchauffement climatique engagé. Près de 650 000 euros sont consacrés chaque année au financement de projets de recherche. Ce budget est justifié par la Fondation Maïf comme nécessaire pour « *améliorer la connaissance des phénomènes, leurs évolutions prévisibles, leur dangerosité, leur gestion, leur assurabilité* » (Guillot *et al.*, 2013, p. 62). Un des objectifs par exemple est de pouvoir améliorer considérablement les modèles économiques permettant de calculer la valeur monétaire des dommages à partir des paramètres d'un aléa déterminé. En effet, de grands progrès restent à faire pour le domaine littoral car les modèles qui sont utilisés actuellement sont principalement adaptés aux inondations fluviales et n'intègrent pas l'effet de la salinité et le phénomène lent de la corrosion par exemple. Le but des recherches financées est d'éviter, tant que faire se peut d'avoir, dans un futur proche, recours à une surtaxe pour les zones à risques. C'est ce qu'expliquait D. Laidet, consultante à la direction Assurance de la Maïf, lors des 6^{èmes} rencontres géographes assureurs qui se sont tenues en mars 2013 :

« Concernant la surtaxe dans les zones à risques, un projet de réforme est en cours pour les catastrophes naturelles. On trouve une proposition de surtaxe dans les zones à risques, mais uniquement pour les professionnels. On estime que les professionnels assurent de gros risques. Ils ont les moyens de négocier avec les assureurs. Pour les particuliers, cette clause de surtaxe n'existe pas. S'il y avait une surtaxe cela deviendrait tellement onéreux que le simple particulier ne pourrait pas s'assurer. Cette idée de surtaxe a donc été abandonnée : dans le cadre de la

mutualisation des risques, celui qui habite dans une zone à risque a la même cotisation que celui qui habite dans une autre zone » (Guillot et al., 2013, p. 84)

Pour parvenir à maintenir cette posture, les assureurs se concentrent aujourd'hui sur une amélioration de la précision du calcul des coûts des dommages, mais aussi des dommages évitables.

Conclusion chapitre 2

L'analyse rétrospective des conditions climatiques de la région nord-ouest européenne décrit la sévérité des tempêtes qui se sont abattues depuis des siècles sur les côtes atlantiques, de la Manche et de la mer du Nord. L'ampleur des dégâts inventoriés puis les mesures de plus en plus précises des aléas météo-marins survenus dans la région expliquent d'autant mieux la lourde charge dont se sont acquittés avec obstination et gravité les ingénieurs et en particulier les ingénieurs néerlandais. Ces éléments d'analyse ont permis de mieux cerner quelle pouvait être la responsabilité engagée des ingénieurs mais aussi leur pouvoir et les contraintes qui se sont exercées sur eux. Ils ont permis de nourrir la méthode de recherche à mettre en œuvre pour comprendre leur rôle actuel et envisager leur rôle à venir.

La notion de rôle correspond *in fine* à un équilibre entre pouvoir et contraintes. Analyser le rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral consiste donc à expliquer leur pouvoir et leurs contraintes dans le processus de décision ayant conduit à l'adoption d'un mode de gestion parmi d'autres. Or, le contexte environnemental et social nouveau et en constante évolution depuis quelques décennies a remodelé les règles d'aménagement et de gestion du littoral. Il semblerait que ce contexte ait contribué à modifier en profondeur le rôle, c'est-à-dire le pouvoir, l'implication et la responsabilité des ingénieurs travaillant à la gestion côtière. La seule analyse de facteurs dits objectifs, tels le contexte économique européen fragile, les incertitudes scientifiques sur l'ampleur des conséquences du réchauffement climatique ou encore la prise de conscience environnementale au tournant des années 1970, ne saurait expliquer entièrement l'évolution du rôle des ingénieurs. En effet, la prise en compte des représentations, individuelles et sociales, bien que modelées par les facteurs objectifs précités, offre une profondeur de réflexion désormais admise en géographie. Les différentes méthodes de travail mises en œuvre ont ainsi eu pour objectif de répondre aux deux grandes questions suivantes :

Que font les ingénieurs ? Comment travaillent-ils ? À quels échelons du processus de décision interviennent-ils ? Sont-ils écoutés ? Jouent-ils toujours un rôle clé dans la décision finale retenue ? Sont-ils des interlocuteurs privilégiés ?

Pourquoi agissent-ils ainsi ? Quelles sont leurs motivations ? Quelles représentations se font-ils du littoral qu'ils aménagent ? Comment envisagent-ils la gestion de ce territoire, fragile et dynamique ?

Autant de questions qui ont déterminé trois objectifs principaux de recherche : l'analyse des pratiques des ingénieurs, l'analyse de leur formation puis la mise en perspective des pratiques et des formations avec l'analyse de leur discours.

I. Objectif 1 : analyser les pratiques des ingénieurs

A. Le choix des études de cas

1. Choix physique

D'un point de vue structural et dynamique, deux grands types de côtes peuvent être distingués : les côtes d'accumulation (ou côtes basses) et les côtes d'ablation (ou côtes à falaises). Ces différences majeures confèrent aux deux formes littorales des conséquences bien spécifiques en termes de risques. Les côtes à falaises sont particulièrement menacées par l'érosion marine et subaérienne (MEEDM, 2010), provoquant principalement des risques

d'effondrement, d'éboulement et de glissement de terrain selon la nature des roches en présence. Les côtes basses, sableuses ou vaseuses, sont également soumises à l'érosion mais elles sont aussi vulnérables à la submersion marine, dont les conséquences, en présence d'un arrière pays de faible altitude, peuvent s'étendre jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres. La gestion de l'une et l'autre forme n'est par conséquent pas appréhendée de la même façon et leur analyse respective suffisamment dense pour constituer deux sujets de recherche à part entière. Dans un souci de comparaison à l'échelle du nord-ouest de l'Europe, il a paru ainsi évident de ne retenir que les côtes basses sableuses et/ou endiguées : en effet, si la France et l'Angleterre présentent un linéaire de falaises très important, ce n'est pas le cas des Pays-Bas, dont le littoral est exclusivement constitué de côtes sableuses ou endiguées.

2. Choix des sites en fonction de leurs objectifs de gestion et des techniques retenues

Le choix des études de cas à retenir s'est ensuite affiné en considérant à la fois les objectifs de gestion réalisés ou envisagés ainsi que les techniques mises en œuvre pour y répondre.

Parmi les côtes basses, trois catégories ont été distinguées : les côtes d'estuaire, les cordons sableux ou de galets et les côtes endiguées. Certains sites tels Wallasea Island, Alkborough ou Abbots Hall ont été regroupés dans la catégorie des estuaires, bien qu'ils soient endigués. En effet, la problématique des sites d'estuaire, endigués ou non, est particulière car leur transformation implique également de prévoir les modifications qu'elle peut apporter à la géométrie de l'estuaire et en particulier l'abaissement des niveaux d'eau en cas de gestion par dépoldérisation ou *managed realignment*. Par ailleurs quatre techniques de gestion des côtes basses ont été retenues. Le tableau 6 fait ressortir une certaine spécialisation technique selon les pays, qui sera détaillée dans la seconde partie de ce travail. Ainsi, les Pays-Bas développent une expertise de la technique de rechargement en sable tandis que l'Angleterre pratique de plus en plus la technique du *managed realignment*. La France n'affiche pas de spécialité technique de la sorte, mais semble trouver un intérêt grandissant pour les techniques de redynamisation des vasières. Si les premiers objectifs sont très souvent sécuritaires et/ou environnementaux, des objectifs économiques sont systématiquement associés en Angleterre. Un quatrième objectif a été retenu : celui de l'expérimentation et des enseignements que la mise en pratique de certaines techniques peut apporter. C'est le cas de la dépoldérisation ou de la redynamisation des vasières en France et du rechargement massif de sable aux Pays-Bas. La carte 5, accompagnée du tableau 6, localise les différents sites retenus.



Carte 5 : localisation des sites retenus dans cette étude. *Source : Google Earth. Légende dans le tableau 6.*

Type de côte	Obj.	techniques	sites	pays	année
estuaires	2	Redynamisation des vasières	Loire (fiches 11 et 12)	F	en cours
	2+4	Redynamisation des vasières	Seine (fiches 13 et 14)	F	1990+2010
	1+2+3	Managed realignment	Humber (Alkborough, fiche 3)	UK	2006
	2+3	Managed realignment	Crouch (Wallasea, fiche 13)	UK	projet
	2+3	Managed realignment	Blackwater (Abbotts Hall, fiche 4)	UK	2002
	1+2+3	Recreusement chenaux	Escaut occidental (fiche 9)	NL	2010
Cordons dunaires ou galets	1+2+3	Laisser faire + digue arrière	Belle Henriette (fiche 5)	F	en cours
	1+2+3	Managed realignment	Medmerry (fiche 8)	UK	2013
	1+2+4	Rechargement en sable	Kijkduin (fiche 1)	NL	2012
Côtes endiguées	4	Dépoldérisation	Sainte-Marie-du-Mont (fiche 10)	F	réflexion
	2+4	Elastocoast	Bathpolder	NL	2009
	1+2	Rechargement en sable	Hondsbossche zeekering en Petten (fiche 2)	NL	2013
	2+3	Dépoldérisation	Perkpolder	NL	projet

Tableau 6 : choix des sites retenus en fonction de leurs objectifs de gestion et des techniques envisagées. Légende : Les numéros affichés dans la colonne « objectifs » correspondent aux objectifs de gestion suivants : 1 = sécuritaire, 2 = environnemental, 3 = économique, 4 = enseignement

B. De l'analyse des plans de gestion et de l'étude de cas à l'identification des ingénieurs et autres acteurs à rencontrer
--

Les acteurs à rencontrer ont été identifiés en deux temps. Tout d'abord, la consultation de différents plans de gestion et stratégies nationales a permis de dresser pour chaque pays une première liste de personnes susceptibles d'être interviewées. C'est ainsi que Marcel Stive, ayant participé à la Commission Delta de 2008 a été rencontré au Pays-Bas. De même Job Dronkers, qui a participé à la rédaction du dernier rapport du GIEC, a été interviewé. En France, Frédéric Uhl et Amélie Roche, ayant participé à la rédaction de la stratégie nationale publiée en 2012 ont également été entendus dans ce contexte. Stéphane Costa, Stéphane Raison, Guy Désiré ou encore Jacques Viguier ont aussi fait l'objet d'un entretien en rapport avec leur contribution à la rédaction du guide méthodologique *La gestion du trait de côte*, édité en 2010 par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. Enfin en Angleterre, la rédaction depuis les années 1990 de *Shoreline Management Plans* a suscité plusieurs entretiens, auprès d'ingénieurs comme de non ingénieurs.

Parallèlement à ce travail d'identification des acteurs à rencontrer aux échelles européenne, nationale et régionale, la sélection des études de cas, a permis d'identifier les acteurs locaux à rencontrer. Chaque projet de gestion comporte un maître d'ouvrage ainsi qu'un maître d'œuvre, généralement entourés de nombreux acteurs : associations diverses, riverains, communes et communautés de communes, syndicats mixtes, entreprises privées, département, région, État etc. Dans le but de bien cerner l'ensemble des enjeux des différents projets ainsi que les attentes des uns et des autres, j'ai souhaité rencontrer au moins une personne de chaque structure impliquée dans un projet. Toutefois, certains cas d'étude réunissaient un trop grand nombre d'acteurs. Plus de cent personnes sont par exemple impliquées dans le projet de recusement des chenaux de l'Escaut occidental. Ainsi l'échantillon formé par les personnes interviewées ne saurait être représentatif au sens quantitatif du terme.

Enfin, un troisième « chemin » a encore permis d'élargir le nombre de personnes rencontrées. Celui-ci repose sur les recommandations des premières personnes sollicitées. Ces recommandations étaient, soit liées aux structures de gestion incontournables (*Environment Agency* en Angleterre, les conseils généraux et départementaux en France, *Deltares* aux Pays-Bas, entre autres), soit liées au profil et au parcours professionnel des personnes à rencontrer. Aux yeux de leurs collègues ces dernières semblaient avoir une vision particulière de la gestion du littoral, une richesse de connaissances transdisciplinaires ou encore une expérience telle qu'elles devenaient incontournables à interroger.

En admettant d'emblée la non-exhaustivité de la démarche et une certaine subjectivité, il s'avère que l'éventail des formations rencontrées est riche et varié (Tableau 7).

	Pays-Bas	Angleterre	France
Ingénieurs (46)	17 ingénieurs de génie civil 1 ingénieur architecte	7 ingénieurs génie civil (CEng) 2 ingénieurs en gestion de l'eau (CEng) 1 autodidacte assimilé (CEng)	17 ingénieurs de génie civil 1 ingénieur agronome
Urbanistes (5)	3 urbanistes 1 architecte	/	1 technicien
Techniciens supérieurs (10)	6 techniciens supérieurs en génie civil ou gestion de l'eau	2 techniciens supérieurs en génie civil	2 environnementalistes
Scientifiques (43)	4 écologues 6 environnementalistes 2 géographes physiciens 2 géologues 1 physicien 1 océanologue 1 biologiste 1 sociologue	1 biologiste 4 ornithologues 2 géomorphologues 5 environnementalistes 2 écologues 1 économiste en écologie 1 géographe	1 juristes 4 géographes 1 géomorphologue 1 économiste 1 écologue 1 biologiste
Total (102)	45 acteurs néerlandais	27 acteurs anglais	30 acteurs français

Tableau 7 : classification par pays et par profession des acteurs rencontrés

Pour chacun des 102 acteurs rencontrés, il s'est agi d'analyser les facteurs suivants :

- le profil de l'interviewé : « généraliste » ou « spécialiste » et son type de formation
- sa fonction au sein du projet : fonction de conseil, de management, d'expertise
- l'échelle (locale, départementale, régionale) d'intervention de l'interviewé
- le moment de son intervention (pendant la phase d'étude, pendant la réalisation du projet, pendant la phase de contrôle des travaux éventuellement réalisés) et la durée de cette intervention (permanente ou ponctuelle)
- le degré de collaboration avec d'autres acteurs concernés par le projet
- la position d'interlocuteur privilégié ou non pour les autres acteurs
- le degré d'influence de l'interviewé sur la décision finale retenue par les décideurs

La liste des personnes rencontrées figure en annexe.

II. Objectif 2 : analyser les formations des ingénieurs

Un des aspects essentiels à prendre en compte pour expliquer les pratiques des ingénieurs en charge de la gestion côtière, est leur formation. Si l'expérience professionnelle, parfois même personnelle, peut certainement faire évoluer leur vision de la gestion du littoral, leur formation constitue une base d'analyse incontournable. Le choix des formations à analyser s'est fait à partir des différentes écoles ou masters ayant formé les ingénieurs rencontrés de façon à éviter une analyse trop théorique sur la formation des ingénieurs « littoralistes » français, anglais et néerlandais. Cette méthode se justifie d'autant plus, en ce qui concerne le thème de la gestion du littoral, qu'il n'existe pas réellement d'école d'ingénieurs en France, ni d'universités spécialisées dans la formation du génie côtier. Le génie rural français par exemple, n'a pas son « équivalent littoral ». Effectivement, la formation des ingénieurs rencontrés s'est révélée très vaste, avec néanmoins certains

recoupements évidents (École Nationale des Ponts et Chaussées et l'ENTPE en France et Université de TUDelft aux Pays-Bas).

Deux techniques ont été mises en œuvre : l'analyse d'archives et la réalisation d'entretiens. L'analyse d'archives et de maquettes des formations d'ingénieurs a été effectuée, quand cela a été possible, avant les années 1970. En effet cette décennie marque les prémices d'une volonté internationale et européenne d'intégrer les enjeux environnementaux à tout développement économique et social. Cette démarche a donc permis d'observer l'évolution de l'enseignement des ingénieurs, autrement dit de mettre en exergue les ruptures et les continuités de leur formation. Par ailleurs, pour approfondir cette analyse, six entretiens sur le contenu des formations ont été réalisés auprès de directeurs de certaines spécialités ou de responsables de la formation (4 aux Pays-Bas : TUDelft, Université de Wageninge ; 2 en France : ENTPE, ENPC). Un exemple de grille d'entretien établie pour la formation des ingénieurs figure en annexe.

III. Objectif 3 : recueillir et analyser les représentations mentales des ingénieurs

A. L'entretien semi-directif

1. Justification du choix des entretiens semi-directifs

L'entretien semi-directif ou approfondi est considéré encore aujourd'hui comme la méthode d'enquête la plus adaptée au recueil des représentations (Abric, 2003). D'un point de vue pratique, il « combine attitude non directive pour favoriser l'exploration de la pensée dans un climat de confiance et projet directif pour obtenir des informations sur des points définis à l'avance » (Berthier, 2010, p. 78). Sur le fond, ce type d'entretien permet à la fois de révéler la logique d'action, le fonctionnement de l'interviewé, et de comprendre en profondeur des phénomènes complexes ou des situations de changement. Or, à la fois l'objet de cette étude (la gestion du littoral) et son sujet (les ingénieurs) présentent ces caractéristiques de complexité et de changement. Le premier changement concerne l'évolution progressive de la gestion côtière vers une gestion aujourd'hui qualifiée d'intégrée, prenant désormais autant en compte les enjeux environnementaux que les enjeux économiques et sociaux. Le second changement est inhérent à la formation même des ingénieurs dont l'évolution est qualifiée de « mutation rapide quasi imprévisible » par C. Maury, délégué général du Comité d'Études sur les Formations d'Ingénieurs en France¹. Cette évolution est en partie liée à l'introduction de la dimension environnementale dans les cursus de formation des ingénieurs. Lors de la même conférence, C. Maury, indiquait à ce propos que « les formations d'ingénieurs ne savent pas très bien ce qu'elles doivent faire, mais elles savent qu'elles doivent changer » et mettait définitivement en avant la période d'évolution et de mutation que connaît actuellement les

¹ Intervention de Claude Maury pour la conférence « la formation des ingénieurs aujourd'hui : continuités, comparaisons, mutations » du 13 janvier 2010 dans le cadre d'un cycle de conférences de l'Université de Tous Les Savoirs : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine*

corps d'ingénieurs. Ainsi, les entretiens semblaient être une technique particulièrement adaptée à ce sujet.

Toutefois, il existe quelques limites aux entretiens, qu'il est néanmoins possible de contourner. En effet, le discours produit lors de l'entretien peut être consciemment ou non contrôlé ou adapté à la demande de l'enquêteur. De même les entretiens réalisés aux Pays-Bas et en Grande-Bretagne ont été effectués en anglais, qui n'est ni la langue maternelle de l'enquêteur, ni celle des enquêtés néerlandais. Par conséquent, l'analyse du discours produit peut révéler des biais d'interprétation. Pour les contourner, il est possible de poser des questions dites de « contrôle » - c'est-à-dire de poser une question différemment sur une même information - ou encore d'employer d'autres méthodes complémentaires pour croiser les informations recueillies, telles les cartes mentales, les cartes associatives ou encore, le récit de vie – méthodes détaillées ci-après. Le contexte dans lequel s'effectue l'entretien peut également poser problème. En France, l'ampleur des conséquences humaines et économiques de la tempête Xynthia, ainsi que les failles de gestion que la tempête a révélées, ont provoqué certaines réticences à parler ouvertement, sachant de surcroît que les entretiens étaient enregistrés. Ainsi parfois, - mais ceci ne constitue que quelques exceptions - les interviewés ont demandé à ce que l'enregistrement des entretiens soit coupé, avant de s'exprimer plus en détails sur certains points épineux.

2. Construction de l'entretien

Afin de répertorier les thèmes devant être abordés, tous les entretiens menés ont été soutenus par une grille d'entretien. Cette grille a cependant été adaptée aux acteurs rencontrés et au contexte, et bien souvent des questions supplémentaires ont été posées de façon à approfondir les propos tenus. Chaque entretien a été enregistré puis retranscrit. La retranscription respecte autant que possible la ponctuation, les hésitations et le ton des interviewés.

La grille d'entretien – comportant les questions et les notions clés à aborder - a été testée à deux reprises auprès d'une dizaine de personnes. Une première fois dans le cadre du mémoire de Master 2², une seconde fois en tout début de thèse. Ces tests ont tout d'abord confirmé l'intérêt de demander aux enquêtés de décrire les facteurs à prendre en compte pour mettre en place une gestion idéale ou optimisée du littoral. Ainsi posée, la question permet de « contrôler » les réponses préalablement obtenues sur ce qu'évoque la gestion du littoral, telle qu'elle est mise en œuvre ou perçue aujourd'hui. Elle met en relief soit une cohérence entre gestion réelle et gestion « idéale », soit une contradiction, qui peut être révélatrice d'une ambiguïté ou d'un désaccord de l'interviewé avec ce qui est pratiqué. Cette question de contrôle nécessite pour l'enquêté de prendre position et de l'expliquer. Les travaux de Flament (1982) et de Moliner (1988) ont en l'occurrence porté sur la mise en valeur d'un groupe idéal, et comme l'indique M.L. Félonneau, il est tout à fait possible de transposer ce qualificatif à un objet telle la gestion idéale³. Par ailleurs ce qualificatif permet une ouverture

² Réalisation de sept entretiens semi-directifs auprès d'ingénieurs français.

³ Félonneau M. L., 2003, Les représentations sociales dans le champ de l'environnement, in Moser G., Weiss K., *Espaces de vie, aspects de la relation homme-environnement*, Armand Colin, pp. 145-176.

puisqu'elle place l'enquêté dans une sorte de jeu de rôle par l'emploi du « si » hypothétique. Cette démarche facilite l'expression de l'enquêté qui a tendance à moins contrôler ses réponses : en ayant l'impression de ne pas s'engager, l'enquêté se révèle souvent plus loquace⁴.

Par ailleurs, les tests préalables de la grille d'entretien ont montré qu'une question sur les outils de gestion du littoral était incontournable pour mieux comprendre les représentations que les ingénieurs et les écologues se font de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC), et comment elle peut compléter ou remplacer d'autres outils existants tels le Schéma de Mise en Valeur de la Mer (SMVM) ou le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) en France. Enfin, le test de la grille d'entretien a montré l'inefficacité et la difficulté de questions trop directes ou « académiques ». Ainsi, avant de demander une définition du *littoral* ou de la *gestion* pour savoir comment l'interviewé envisage ces deux notions, il est préférable d'aller du particulier au général, en demandant de présenter un projet de gestion et en quoi consiste le rôle de l'enquêté dans ce projet.

B. Le récit de vie

Le récit de vie se différencie de l'autobiographie en ce sens qu'il ne cherche pas à recueillir la totalité de l'histoire d'un sujet, mais à saisir des segments du parcours d'une vie et leur articulation par rapport à une question posée (Bertaux, 2006). Le choix des personnes à rencontrer s'est donc naturellement porté sur des ingénieurs ayant effectué une carrière suffisamment longue dans le domaine de la gestion côtière. Le recul de plusieurs décennies est en effet nécessaire pour étayer un point de vue personnel sur la double évolution des objectifs de gestion du littoral et de leur métier. Quatre grandes questions ont été formulées :

- Pourquoi avoir fait des études d'ingénieurs ? Quelles étaient vos motivations, avant d'intégrer cette formation ?
- Avez-vous perçu, au long de votre carrière, une évolution dans la façon d'envisager la gestion du littoral au cours des deux ou trois dernières décennies ?
- Celle-ci a-t-elle eu des conséquences sur vos fonctions en tant qu'ingénieur ?
- Votre parcours professionnel a-t-il finalement été en accord avec ce que vous imaginiez faire en intégrant votre formation d'ingénieur ?

Ces questions ouvertes ont permis aux interviewés d'aborder spontanément les quatre phases indispensables à l'analyse du récit de vie définies par D. Bertaux : les relations familiales et interpersonnelles, l'expérience de l'école et la formation des adultes, l'insertion professionnelle puis le jalonnement d'une carrière, et enfin la comparaison du contenu des récits de vie recueillis. Plusieurs sociologues ont montré en effet « *que choix d'orientation scolaire [et] stratégies d'insertion professionnelle, [...] sont moins des choix individuels que familiaux* »⁵ (Bertaux, 2006, p. 47). Il est à noter ici, que les réponses formulées par les

⁴ Intervention de Blandine Veith, sociologue, pour le cours « enquête qualitative et conduite d'entretien » proposé par l'Ecole Doctorale de géographie de Paris.

⁵ Bertaux D., 2006, *L'enquête et ses méthodes : le récit de vie*, Armand Colin, Paris, 127 p.

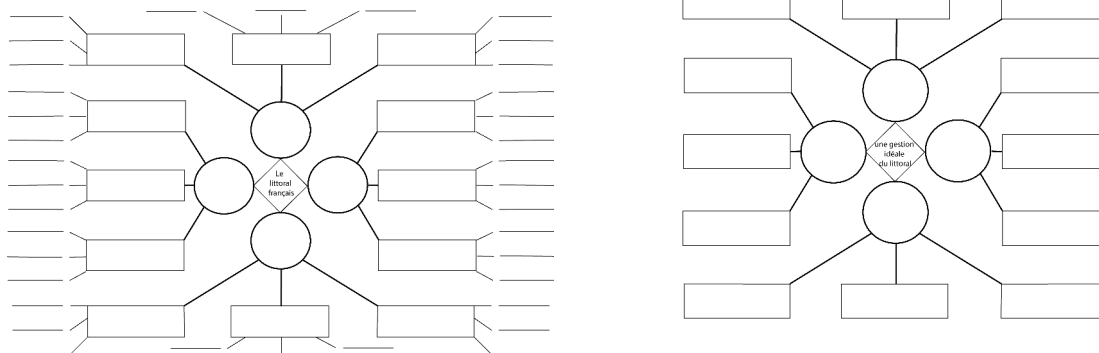
ingénieurs français ont été bien différentes de celles de leurs homologues néerlandais ou anglais. En effet, les ingénieurs provenant d'une famille « modeste » reconnaissent avoir fait ce choix d'étude car elles aboutissaient également à une reconnaissance sociale, justifiée par la volonté d'être utile à la société. Ce métier semblait, pour les personnes rencontrées, faire rêver bien plus qu'outre-Manche. L'attention portée à l'articulation des domaines de l'existence a ainsi permis de mieux cerner modes de fonctionnement et d'actions des ingénieurs.

Cette technique – contraignante par le temps d'interview qu'elle demande et par la difficulté à obtenir l'accord d'une personne pour se prêter à l'exercice – n'a été mise en œuvre que pour un nombre restreint d'ingénieurs. Le recours à cette technique d'enquête doit donc être considérée comme un approfondissement des résultats obtenus par l'analyse préalable des entretiens semi-directifs. Une autre façon de compléter les entretiens consiste à recourir à des techniques graphiques de recueil des représentations. Deux d'entre elles ont été utilisées : les graphes associatifs et les cartes mentales.

C. Les techniques graphiques

1. Les graphes associatifs

Le recours aux graphes associatifs oblige l'interlocuteur à synthétiser sa pensée en quelques mots incontournables et par conséquent à se concentrer sur les nœuds de réflexion plutôt que sur leur articulation. Cette technique consiste à demander à l'interlocuteur, à partir d'un mot inducteur, d'exprimer un certain nombre de mots (noms, adjectifs ou groupes de mots) qui lui viennent à l'esprit et de les organiser selon un graphe proposé. Deux groupes de mots inducteurs ont ainsi été soumis : *le littoral (français, anglais et néerlandais* selon le cas) *et une gestion idéale du littoral*. Un test préalable a montré qu'un graphe composé de quatre rangs pour le premier groupe de mots puis de trois rangs pour le second groupe était le plus pertinent (Figures 6).



Figures 6 a et b : graphiques bruts soumis aux enquêtés (chacun au format A4). Fig. 6a : « le littoral français », comportant 4 rangs. Fig. 6b : « une gestion idéale du littoral », comportant 3 rangs.

L'idée était ainsi de laisser ouvert le choix des mots et de ne pas en proposer une liste prédéfinie mais d'imposer en revanche une forme d'organisation. L'interlocuteur avait toutefois le choix de remplir totalement le graphe ou non.

Les mots ainsi associés peuvent ensuite être analysés selon deux indicateurs : la fréquence d'occurrence des mots proposés et le rang (défini par le rang moyen calculé sur l'ensemble de la population). Le rang et la fréquence sont en effet un indicateur de la centralité de l'élément proposé (Abric, 2003). Ces résultats peuvent ensuite être présentés de façon schématique en faisant figurer les éléments les plus représentatifs de l'ensemble, puis en corrélation avec leur rang d'association (Cadoret, 2006).

Bien que J.-C. Abric décrive abondamment les avantages de cette technique (repérer les « termes charnières », les nœuds de réflexion et l'organisation des idées), sa mise en œuvre est aussi chronophage, contrairement à ce qu'indique l'auteur (Abric, 2003). En effet, quinze minutes au minimum étaient nécessaires aux enquêtés qui ont testé les graphes associatifs, pour remplir le premier graphe relatif au « littoral », puis dix minutes supplémentaires pour remplir le second graphe relatif à une « gestion idéale du littoral ». Au total, ce sont trente minutes prises sur un entretien d'environ deux heures, réalisé auprès de personnes généralement très prises. Par économie de temps, l'exercice a donc été expliqué en fin d'entretien, puis confié au bon vouloir de l'enquêté, qui pouvait retourner les graphes remplis par e-mail. Cette méthode présentait l'avantage de laisser le temps nécessaire aux enquêtés pour répondre, mais le gros inconvénient de devoir relancer parfois à plusieurs reprises les personnes pour obtenir les graphes remplis. Une autre forme de technique graphique a pu être utilisée systématiquement pendant les entretiens.

2. Les cartes mentales

a. L'intérêt des cartes mentales dans le champ de la géographie de l'environnement

La carte mentale est une technique graphique reflétant une réalité subjective de l'espace, c'est-à-dire la façon dont un individu se représente une portion d'espace. Cet outil permet de recueillir les représentations spatiales que les individus se font de leur environnement. Ces représentations spatiales, ou représentations cognitives de l'espace, sont nourries de représentations mentales, ou individuelles (faisant référence au vécu, à l'expérience, à l'éducation, à la culture de l'individu) mais aussi de représentations sociales, c'est-à-dire partagées par un groupe social ou professionnel (Paulet, 2002).

Malgré les controverses et difficultés liées à l'analyse des cartes mentales, cet outil semble connaître un regain d'intérêt auprès des géographes depuis les années 2000. Paul Claval, dans *Géographie culturelle. Une nouvelle approche des sociétés et des milieux*, consacre par exemple un chapitre entier à l'orientation des individus et leur capacité « à se reconnaître ». L'auteur s'appuie sur de nombreuses cartes mentales⁶, et montre comment l'analyse de ces cartes permet de recueillir des délimitations et des significations subjectives des lieux (Claval, 2003). Une application nouvelle dans le champ de la géographie de l'environnement est également apparue durant cette décennie. Françoise Péron, par exemple, dans un article traitant des « Fonctions sociales et [des] dimensions subjectives des espaces insulaires », utilise cet outil pour mettre en exergue les différences entre les représentations spatiales d'un habitant de l'île d'Ouessant, d'un résident secondaire et d'un visiteur (Péron, 2005). L'auteur interroge la relation socio-spatiale que ces trois individus entretiennent, selon leur degré d'appropriation du territoire, avec cet environnement insulaire. En 2008, une équipe de chercheurs irlandais a employé les cartes mentales d'une façon nouvelle, en cherchant à analyser, non plus la relation d'un individu, mais celle d'un groupe professionnel à un environnement donné. Le caractère nouveau de cette démarche, comme le soulignent les auteurs, tient également au fait que peu de recherches utilisant les cartes mentales ont été menées jusqu'à présent dans un cadre plus « naturel » ou à prédominance rurale. (McKenna *et al.*, 2008) L'objectif était de rendre compte de l'importance du savoir vernaculaire des pêcheurs travaillant dans le lac Lough Neagh, situé au nord de l'Irlande, en mesurant leur connaissance du milieu lacustre. Pour ce faire, les chercheurs ont analysé les représentations spatiales que chaque pêcheur se fait de son environnement (variations bathymétriques, types de sols, localisation des bancs de sable et des courants, etc.), puis superposé les cartes mentales recueillies afin de créer une seule et même carte reflétant le degré de connaissance et de précision de l'environnement dans lequel vivent et travaillent ces pêcheurs. Cette expérience a révélé l'exactitude des informations données par ces derniers, après avoir été comparées avec des cartes « scientifiques » obtenues par l'utilisation de radio-sondes et de sonars. De ces résultats ressortent deux points particulièrement intéressants. D'une part, la concordance des représentations spatiales recueillies permet de dégager une carte mentale

⁶ « Se reconnaître en ville : cartes mentales du Havre », fig. 15 p. 116 ; « L'orientation chez les Yurok », fig. 16 p. 118 et « L'orientation chez les Aymara et les Incas », fig. 17 p. 119, *in* Claval, 2003.

unique, dont le résultat ne doit pas se lire dans l'addition des connaissances individuelles, mais dans la connaissance commune d'un groupe social, justement identifié par cette caractéristique partagée. Sur ce point, les auteurs confirment d'ailleurs les propos de P. Gould et de R. White : « *Bien que chaque représentation soit unique ..., il doit y avoir des recouvrements évidents entre les cartes mentales des gens. Plus homogène est le groupe en termes d'âge et d'expérience, plus grandes sont les similitudes que nous pouvons attendre de ces images mentales*⁷ » (Gould et al., 1974) Il existerait donc des cartes mentales communes à des groupes sociaux, ou à des groupes professionnels. D'autre part, l'expérience pratique de ces pêcheurs, c'est-à-dire les usages qu'ils font de ce lieu, révèle, par le biais des cartes mentales, la connaissance précise qu'ils ont de leur environnement. Ainsi, les représentations spatiales qu'ils se font de leur environnement leur permettent de prendre les décisions utiles à la pratique de leur métier et aux usages que leur environnement permet. Transposé à une échelle nationale, ce deuxième résultat rejoint également les propos de P. Gould et de R. White, selon lesquels « *les hommes et les femmes qui prennent les décisions concernant l'espace national et ses habitants devraient être conscients de leur propre conditionnement spatial et régional, (...), tout comme le psychanalyste doit être conscient de sa propre histoire psychique et de la façon dont elle peut affecter son jugement* » (Gould et al., 1984, p. 8).

C'est dans cette optique qu'ont été employées les cartes mentales : contrairement à l'étude de J. Mc Kenna et al., l'utilisation de cette technique n'avait pas pour objectif ici de mesurer une connaissance propre aux ingénieurs, mais plutôt de comprendre comment les ingénieurs se représentent le littoral qu'ils aménagent. En effet, l'évolution constatée des pratiques des ingénieurs peut trouver son fondement dans l'analyse des représentations que ce groupe professionnel se fait de notions géographiques tel le littoral, dont les limites restent floues et dont les définitions sont aussi nombreuses que les usages qu'on fait de cet espace. Autrement dit, la question était de savoir si l'addition des représentations mentales - et donc individuelles - des ingénieurs rencontrés peut faire ressortir des représentations sociales, c'est-à-dire partagées par ce groupe professionnel et le caractérisant en partie (Gueben-Venière, 2011).

b. Limites des cartes mentales et choix de mise en œuvre

Les difficultés inhérentes à l'interprétation des cartes mentales ont toujours conduit les géographes à manier cet outil avec une extrême prudence, voire avec une certaine réticence. Les recommandations et mises en garde sont nombreuses et touchent aussi bien à l'analyse des cartes elles-mêmes qu'à leur mise en œuvre. Hervé Gumuchian rappelle ainsi que « *la vogue relativement récente de l'utilisation des cartes mentales en matière de recherche [...] ne saurait faire oublier qu'il s'agit là de matériaux à manier avec prudence ; cette exigence est d'autant plus forte que, sur le plan théorique, l'approche de la cartographie mentale demeure à peine ébauchée* » (Gumuchian, 1991). Roger Downs et D. Stea posent la question de l'interprétation des distorsions spatiales, des « oublis » ou des « vides » apparaissant sur

⁷ « *While every view is unique... they may be considerable overlap between the mental maps of people. The more homogeneous the group is in terms of age and experience, the more overlap we might expect between the mental images* »

les cartes : « *toutes les cartes cognitives dépeignent des surfaces discontinues*⁸ ». (Down *et al.*, 1973) Comment, en effet, interpréter ces discontinuités spatiales ? Enfin, J-F. Staszak souligne un biais important et particulièrement difficile à analyser relatif au dessin lui-même : « *la carte dessinée [à main levée] ne représente pas forcément une bonne image de la structure cognitive, mais peut par exemple mesurer une aptitude à dessiner et cartographier* » (Staszak, 2003, p. 133). Cependant, selon G. Moser et K. Weiss, la « peur » du dessin concerne principalement les personnes âgées et de classes modestes. (Moser *et al.*, 2003) Ainsi, une attention particulière doit être portée au profil des personnes amenées à dessiner.

Ces difficultés peuvent être contournées ou tout au moins réduites par le mode de mise en œuvre et d'analyse envisagé. D'une manière générale, il existe deux façons de recueillir des représentations spatiales par le biais des cartes mentales⁹ : demander aux enquêtés de dessiner une portion d'espace sur une feuille blanche, ou à partir d'un fond de cartes faisant figurer un minimum d'informations (zones urbaines et noms de villes, frontières et délimitation du trait de côte). C'est cette deuxième option qui a été retenue. En soumettant un fond de carte, l'avantage était double :

- réduire la part des distorsions liée à la difficulté du dessin sur feuille blanche
- faciliter la compilation sous SIG des cartes obtenues

L'utilisation des cartes mentales a donc été dans une certaine mesure encadrée. En faisant figurer le trait de côte sur ce fond de carte, l'objectif était de recueillir les limites attribuées au littoral par les enquêtés : jusqu'où remonte-t-il dans l'arrière-pays ? Jusqu'où s'étend-il en avant du trait de côte ? En somme, les ingénieurs considèrent-ils le littoral qu'ils aménagent comme un système comprenant un rétro-littoral¹⁰ et un pro-littoral¹¹ ? (Corlay, 1995)

Ce choix d'ordre méthodologique effectué, les cartes mentales s'avèrent être un très bon outil de recueil des représentations lorsqu'elles sont utilisées en complément des entretiens semi-directifs. La complémentarité du discours et du dessin a ainsi permis d'approfondir les définitions du littoral proposées ou au contraire de mettre en exergue certaines contradictions. Ces résultats seront détaillés en seconde partie.

Une fois recueillis, les résultats graphiques exploitables ont été « compilés ». Ce traitement a été employé par J. Mc Kenna *et al.* cité précédemment pour mesurer la connaissance d'un groupe socio-professionnel de son environnement de travail. Il a par ailleurs été largement décrit par E. Bonnet dans une étude relative aux risques industriels et à l'intégration des représentations dans l'évaluation de la vulnérabilité du territoire de l'estuaire de la Seine (Bonnet, 2004). Pour ce faire, les cartes mentales recueillies ont été intégrées dans un SIG et numérisées une à une. Une grille de résolution adéquate a ensuite été appliquée à la superposition des dessins, révélant l'occurrence des zones citées par la population comme étant des zones de risque potentiel. Ce même procédé a été employé pour traiter les cartes mentales de notre étude. Leur superposition a ainsi permis d'établir une carte mentale

⁸ « *all cognitive maps depict discontinuous surfaces* »

⁹ Si l'on se réfère à l'ensemble des ouvrages relatifs aux cartes mentales, mentionnés en bibliographie.

¹⁰ Arrière-pays proche désignant la zone située en arrière de l'interface terre/mer

¹¹ étendue de quelques miles marins en avant du trait de côte

« moyenne » des représentations partagées par le groupe professionnel des ingénieurs, dont l'analyse figure en seconde partie.

Malgré les intérêts évoqués et les limites connues de cette technique, il me semble nécessaire de préciser certaines difficultés rencontrées personnellement. Si cette technique a été particulièrement efficace aux Pays-Bas puis en Angleterre, elle ne l'a pas été forcément en France. La superficie restreinte des Pays-Bas se prêtait particulièrement bien à un fond de carte à l'échelle nationale. Bien sûr, cette échelle, même présentée sur une feuille A3, ne permet pas une délimitation au mètre près, mais les limites du littoral proposées par les enquêtés ne comportaient pas davantage ce degré de précision et se rapportaient dans tous les cas à des unités géomorphologiques ou topographiques facilement identifiables.



Carte 6 : fond de carte proposé aux enquêtés rencontrés aux Pays-Bas
Réalisation : S. Gueben-Venière et G. Decroix, 2010.



Carte 7 : un des fonds de carte proposé pour la côte est de l'Angleterre.
Réalisation : S. Gueben-Venière, 2011

En Angleterre, la longueur des côtes étudiées était double. Or délimiter le littoral suppose une connaissance précise de la nature des côtes, ce qui n'était pas toujours le cas des interviewés pour l'ensemble de la côte est et sud du pays. Une plus grande échelle a donc été soumise, mais alors le nombre de cartes mentales superposées n'était plus toujours suffisant pour tenter d'établir une carte mentale « moyenne » significative. Par ailleurs quelques personnes ont présenté une certaine réticence à dessiner, liée à la difficulté à appréhender la démarche. De façon générale, les Néerlandais et les Anglais rencontrés ont montré une curiosité amusée en se prêtant à l'exercice, ce qui n'a pas toujours été le cas des enquêtés français, qui se sont montrés assez méfiants, jusqu'à refuser l'exercice en proposant d'autres cartes de substitution, « plus complètes » que le fond de carte soumis. Deux raisons principales, me semble-t-il, peuvent expliquer cette différence d'attitude. D'une part, ma nationalité et mon statut d'étrangère aux Pays-Bas et en Angleterre m'ont sans doute fait bénéficier d'un accueil très chaleureux et par conséquent d'une grande patience et compréhension de la part des personnes rencontrées. D'autre part, le fait que le terrain français ait été le troisième et dernier. Bien que chaque entretien soit unique, un effet de répétition s'est sans doute installé lors de l'exposition des consignes, et par conséquent une patience moindre de la part de l'enquêteur. Enfin, le fait de mener des entretiens dans sa

langue maternelle permet une plus grande aisance et un approfondissement du discours qui a pour conséquence un manque de temps pour la mise en œuvre des techniques secondaires de recueil des représentations spatiales. Pour toutes ces raisons, l'exercice a donc été moins probant en France et en Angleterre qu'aux Pays-Bas.

D. L'observation participante

L'observation participante est venue compléter les techniques d'enquêtes et graphiques utilisées. Elle s'est plus précisément déroulée pour le cas de Sainte-Marie-du-Mont, dans la Manche. Dans cette commune, donnant sur la baie des Veys, le Conservatoire du littoral possède un polder d'une centaine d'hectares. Soucieux de réfléchir hors contexte de crise aux avantages et aux inconvénients d'une dépoldérisation programmée du polder – c'est-à-dire au recul maîtrisé du trait côte -, le Conservatoire a lancé en 2011 un appel d'offre dans ce sens (Cf. cahier des charges en annexes). Le bureau d'étude Artélia (Sogreah à l'époque) a remporté l'appel en constituant une équipe pluridisciplinaire comportant des ingénieurs, un juriste de l'environnement, une écologue et moi-même, doctorante en géographie du littoral. Cette expérience a permis d'observer l'évolution des réflexions tout au long des deux phases de l'étude qui a débuté en décembre 2011 et s'est terminée en septembre 2013.

Conclusion du chapitre 3

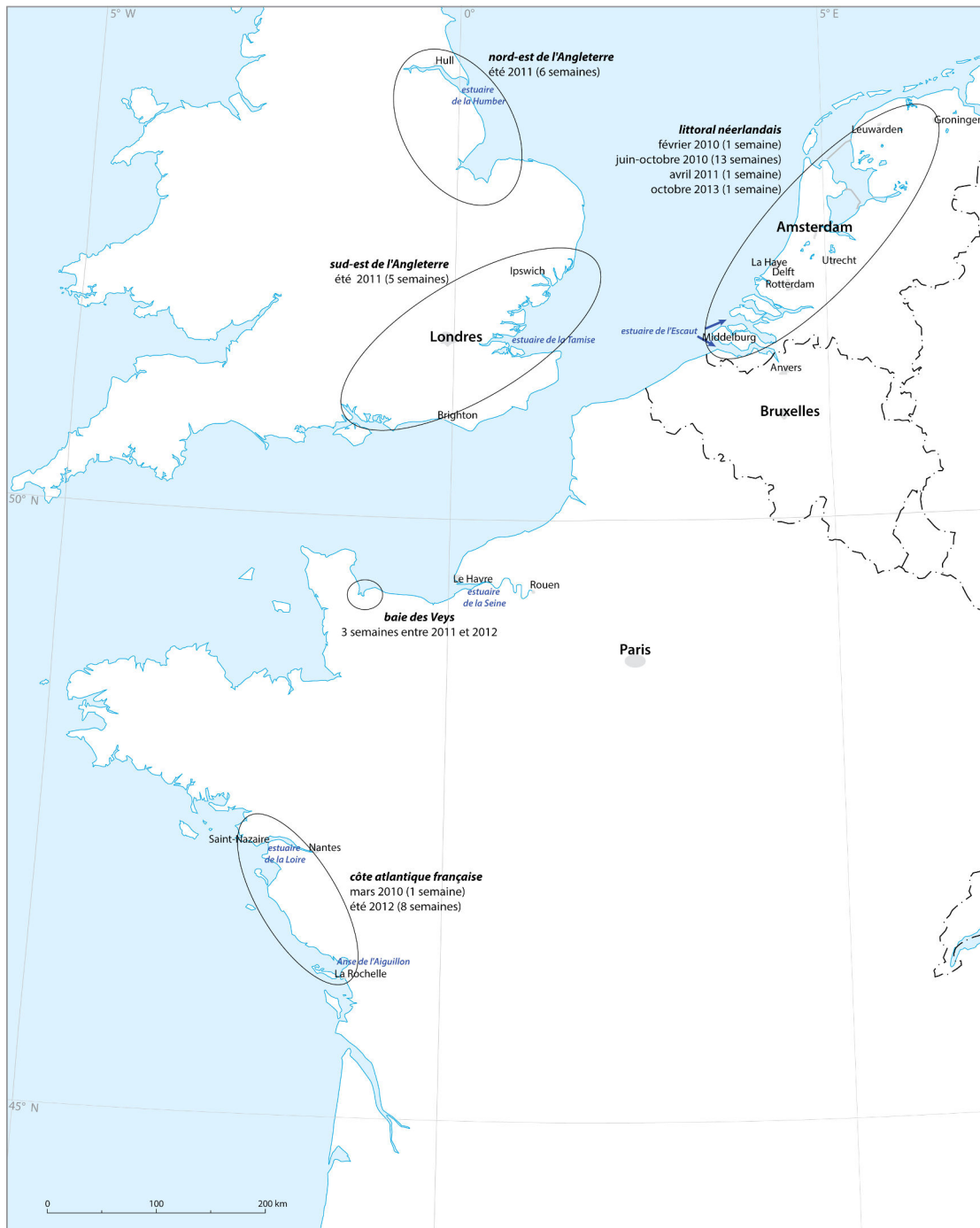
L'ensemble de ces techniques de recherche a permis d'établir des combinaisons d'analyse utilisant différentes échelles spatiales et temporelles – démarche nécessaire dans une étude géographique. La complémentarité des entretiens, des graphes associatifs et des cartes mentales contribue à une analyse en profondeur des discours, faisant ressortir les nuances des propos tenus, tandis que les graphes associatifs et les cartes mentales offrent en parallèle une vision d'ensemble, une synthèse du discours. Par ailleurs, l'analyse des discours et des études de cas associe étude des représentations et observation des pratiques. Enfin ces techniques ont permis une analyse longitudinale combinant trois échelles temporelles : le très long terme du temps passé (évolution des techniques, des connaissances, des aléas et conséquences sur la structuration des territoires littoraux et celle du métier d'ingénieur intervenant dans la gestion du littoral) ; le long terme, passé et à venir (évolution passée et prospective des politiques d'aménagement du littoral et des politiques environnementales, du contexte économique) ; l'échelle temporelle d'une carrière professionnelle (formation initiale, expérience professionnelle). Ainsi l'alliance de ces techniques de recherche a permis de mieux mettre en relief les ruptures et les continuités dans l'exercice du métier d'ingénieur et de comprendre les motivations profondes et plus accidentelles aboutissant aujourd'hui à l'élargissement des solutions proposées par les ingénieurs.

SECONDE PARTIE

Confrontation des discours et des pratiques : des ingénieurs de plus en plus « verts » ?

La seconde partie de ce travail expose une partie des résultats recueillis sur les trois terrains de recherche. Ces derniers se sont effectués en plusieurs étapes, échelonnées tout au long de la thèse. La carte 7 retrace cette organisation.

L'objectif du travail de terrain était de permettre la validation ou non de l'hypothèse principale formulée en introduction, selon laquelle un lien fort existe entre pratiques ou solutions de gestion côtière proposées par les ingénieurs et représentations qu'ils se font de ce territoire entre terre et mer dont ils ont la charge de gérer et d'aménager. Ainsi les résultats recueillis ont été présentés sous la forme de deux chapitres : le chapitre 4 expose plusieurs cas d'étude sélectionnés pour l'innovation dont ils font preuve, marquant ainsi une rupture avec les pratiques passées ; le chapitre 5 rend compte des discours prononcés par les ingénieurs et non ingénieurs rencontrés dans les trois pays en lien avec les pratiques observées et décrites dans le chapitre 4.



Carte 8 : déroulement du travail de terrain effectué.

Réalisation : G. Decroix et S. Gueben-Venière, 2012.

Constat : la recherche d'un littoral plus « vert »

Ce chapitre présente cinq des cas d'étude analysés dans ce travail : deux cas néerlandais, deux cas anglais et un cas français. Tous mettent en relief une rupture plus ou moins franche avec les pratiques passées de gestion du littoral et montrent la volonté des acteurs impliqués d'imaginer des solutions de plus en plus « vertes ». Pour chaque cas, les enjeux présents ont été analysés dans une perspective historique afin de mieux comprendre les évolutions ayant conduit aux objectifs actuels de gestion. Par ailleurs, une fiche a été réalisée pour chaque site, résumant visuellement l'intérêt des sites. Deux échelles spatiales ont structuré ce chapitre : la première à l'échelle du site lui-même, la seconde à l'échelle de l'ouvrage réalisé.

I. Évolution des techniques utilisées par les ingénieurs à l'échelle du site

A. Le rechargement en sable largement encouragé aux Pays-Bas

1. ZandMotor ou le « moteur à sable »

13 juillet 2010. Cela fait plus de deux semaines que je sillonne le sud des Pays-Bas et ma première impression ne me quitte pas : je suis cernée par l'eau. Des canaux s'étendent à perte de vue, dessinant un paysage géométrique qui se veut rassurant et paisible¹. Pas besoin de barrières ici pour délimiter les zones de pâturage et séparer les troupeaux de moutons : les canaux, comme établis au cordeau, en font office. Et si toutefois il me prend l'envie de jeter un regard au loin pour échapper à ce quadrillage aquatique et mieux admirer la construction toute horizontale de ce paysage original, le GPS me rappelle à l'ordre faisant figurer mon véhicule au milieu d'une vaste étendue bleue. C'est à croire que les routes et autres voies rapides de ce pays sont suspendues au-dessus de l'eau. Pourtant, comprendre les enjeux sécuritaires, économiques et sociaux néerlandais, c'est d'abord repositionner le territoire sur une échelle verticale. C'est ce que m'explique Jan Mulder, professeur de géographie physique, rattaché à Deltares :

« Regardez cette image ! [cf. figure suivante n°7] Le gouvernement communique de façon générale en ces termes : « vous êtes en sécurité : le risque que quelque chose se passe mal est de 1 sur 10 000 ». Donc les gens pensent : je ne vivrai plus ici dans 10 000 ans, donc je suis en sécurité ici ! C'est pourquoi je préfère communiquer avec ce genre d'image !² »

¹ Malgré un territoire des plus densément peuplés d'Europe, les Néerlandais ne cessent de mettre en avant la qualité de vie et la quiétude qu'offre leur pays.

² « Look at this picture ! The government is communicating in terms of : « you are safe : there is a risk of 1 to 10 000 that something could go wrong ». So people think : I won't be living here in 10 000 years, so I'm safe here ! That's why I prefer to communicate in these type of pictures ! »

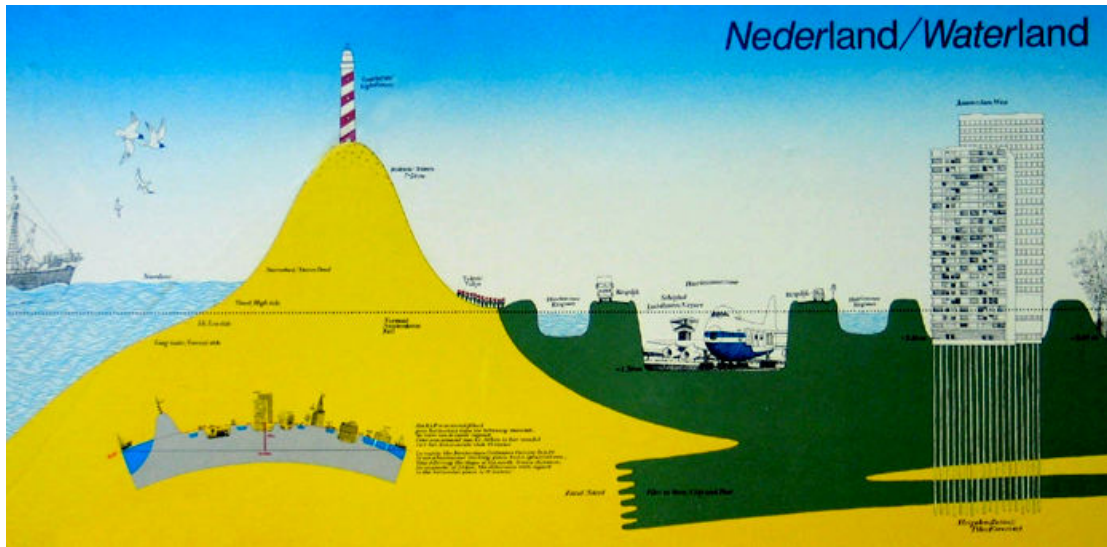
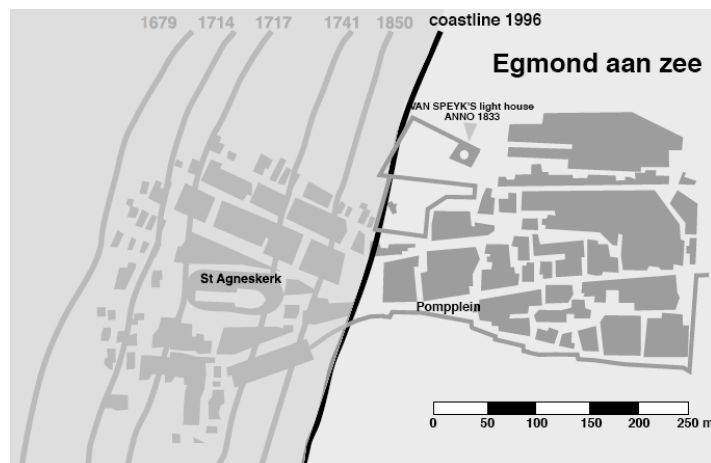


Figure 7 : Extrait de l'affiche Nederland/Waterland. Source : Kees van der Veer, 1987, Euro Book Production.

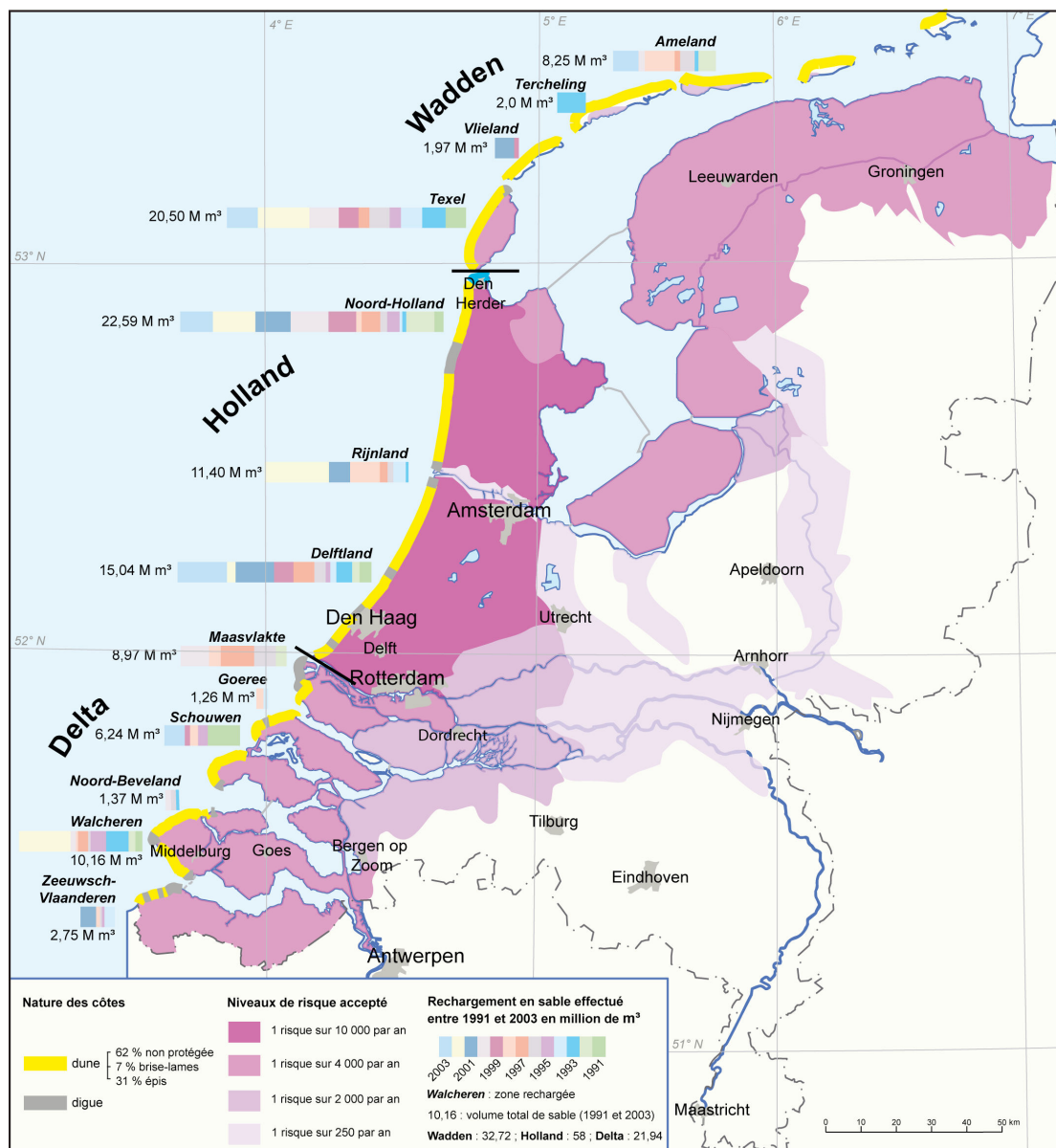
Effectivement l'entrée en matière est efficace et la démonstration flagrante. Aux Pays-Bas, les avions se posent à -3 mètres, faisant de Schiphol l'un des aéroports les plus bas au monde. Les dunes sont donc essentielles à la protection du pays dont une grande partie se trouve sous le niveau marin. Autrement dit, c'est le sable qui protège la Hollande méridionale. Pourquoi donc ne pas utiliser le sable pour conforter les dunes néerlandaises, matériau abondamment présent en mer du Nord et à portée de « pipe » de surcroît ? L'idée n'est pas exactement nouvelle : le rechargement en sable a été activement mis en œuvre dès les années 1990 aux Pays-Bas.

Avant cette date, environ 20 hectares de dunes disparaissaient chaque année et le trait de côte, malgré des renforcements ponctuels, n'avait cessé de reculer en certains endroits. Le village de St. Agneskerk, en Hollande septentrionale, a ainsi disparu en trois siècles, donnant accès à la mer à Egmond aan Zee. Entre 1679 et 1996, le trait de côte y a effectivement reculé de 250 mètres comme le montre la carte suivante (de Ruig, 1998).



Carte 9 : reconstruction cartographique de l'érosion côtière subie en Hollande au fil des siècles. Source : de Ruig, 1998

Pour mettre fin à cette érosion continue, le gouvernement néerlandais a décidé de prendre pour référence le trait de côte de l'année 1990 et de ne plus accepter aucun recul. Cette décision répond à une nécessité vitale au regard de la forte densité de population du pays et d'une économie principalement développée en arrière des dunes hollandaises. Pour mettre en œuvre cette décision, les Néerlandais ont développé une gestion côtière consistant à utiliser la dynamique naturelle et éviter, dans la mesure du possible, la construction d'endigements classiques pour se protéger. Protéger le pays des submersions marines en ayant recours au rechargement en sable a constitué un nouveau défi à relever pour les ingénieurs. En effet, cette technique dite « souple » devait impérativement répondre, de façon aussi satisfaisante que les digues, aux standards nationaux de sécurité. Il ne s'agissait donc plus pour les ingénieurs de calculer les dimensionnements d'un ouvrage classique pour optimiser sa résistance à l'assaut des vagues (nature des matériaux, degré des pentes externe et interne de la digue etc.), mais de modéliser le comportement, la mobilité des masses sableuses déposées et ainsi leur efficacité en terme de sécurité. La carte suivante met en relation les volumes de sable déposés annuellement au cours de la décennie 1990 et les standards nationaux de sécurité.



Carte 10 : Le risque submersion marine aux Pays-Bas et la politique de rechargement en sable de 1991 à 2003. Source : d'après Ruig, 1998 ; Huisman, 2004 ; Rijkswaterstaat, Conscience (Concepts and science for coastal erosion management : www.conscience-eu.net/dutch_coast). Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013

La carte 10 met en évidence le caractère majoritairement dunaire des côtes externes néerlandaises. Sur les 254 km de dunes que comptent les Pays-Bas, 62 % ne sont pas renforcées par un ouvrage de défense contre la mer. La politique de rechargement en sable mise en œuvre depuis 1991 a ainsi permis de conserver et d'entretenir les dunes, éléments naturels de protection contre la submersion marine. Les volumes de sable déposés entre 1991 et 2003 ont varié d'une région à l'autre, mais la région hollandaise et en particulier la Hollande du nord arrivent en tête des rechargements effectués, avec 22,59 millions de mètres cubes. Ce chiffre s'explique par deux raisons principales. D'une part, le littoral hollandais subit l'érosion la plus forte du pays (de Ruig, 1998) et d'autre part, cette portion de littoral protège le cœur économique néerlandais et donc un territoire soumis au standard de risque le

plus strict, soit une occurrence annuelle du risque de 1 sur 10 000. Non loin derrière la Hollande du Nord, l'île de Texel occupe la deuxième position avec 20,50 millions de mètres cubes de sable. Dans le delta zélandais, la pointe de Walcheren a cumulé un dépôt sableux de 10,16 millions de mètres cubes en douze ans.

De nombreux projets de rechargement en sable ont ainsi été encouragés durant la décennie 1990. Cette technique présente en effet l'avantage de répondre simultanément à plusieurs enjeux : sécuritaires en premier lieu, puis environnementaux et paysagers en ne « dénaturant » pas le paysage littoral, et enfin socio-économiques en augmentant l'offre de loisirs liés au littoral. Lorsque les premières prévisions du GIEC ont annoncé 60 cm d'élévation du niveau marin d'ici 2100, décision a été prise d'augmenter proportionnellement le dépôt annuel de sable (Fig. 9). Puis, ces premières estimations ont été revues à la hausse dans la décennie 2000. La question qui se posait alors était double : au-delà d'un certain volume de sable, le rechargement en sable allait devenir très onéreux d'une part, et d'autre part, la perturbation de l'environnement littoral causé par les dépôts annuels de sable n'était pas négligeable ainsi que le précise Roland Paskoff : « *les dragages perturbent les biotopes benthiques et [...] le matériel accumulé sur les estrans peut avoir des conséquences négatives sur leur faune, encore que les recolonisations soient relativement rapides* » (Paskoff, 2001, p. 133). La nouvelle donne du réchauffement climatique et de l'accélération de l'élévation du niveau marin méritait donc une nouvelle analyse du problème et la recherche d'une solution hybride. Pourtant, forts du succès des rechargements en sable qui ont montré une croissance régulière des dunes durant la décennie 1990 (Mulder, 2010), les Néerlandais ont voulu se pencher plus sérieusement sur cette solution pour l'améliorer et conforter durablement les points faibles de la côte. La figure 8 met en rapport l'évolution du volume de sable déposé et les résultats mesurés du point de vue sécuritaire.

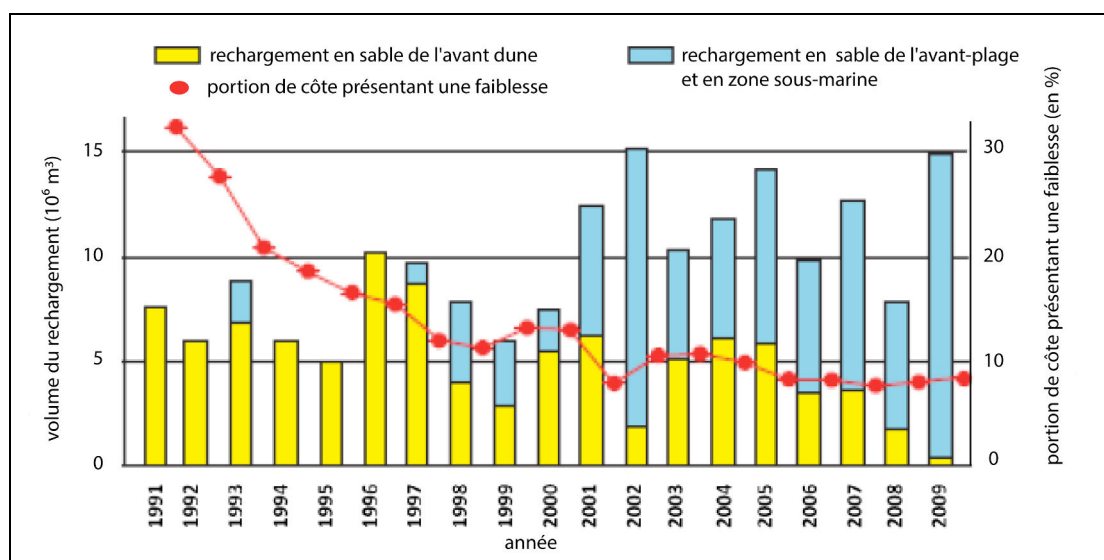


Figure 8 : correspondance entre rechargement en sable et protection côtière.
Source : d'après Mulder *et al.*, 2010

Durant la décennie 1990, le rechargement en sable s'est effectué principalement en pied de dune. À partir de 2001, le rechargement de l'avant-plage et de sa partie sous-marine a

augmenté et permis ainsi une diminution presque continue de l'érosion des côtes (Fig. 9). Ainsi, entre 1991 et 2009, le volume de sable déposé a doublé, et la part du linéaire côtier présentant une faiblesse a été divisée par 3.

Malgré ce programme de protection côtière, certaines portions de dunes protégeant la Hollande méridionale présentaient encore plusieurs points faibles. La largeur de certaines d'entre elles, inférieure à 1 km, résulte certes d'une érosion éolienne et marine de leur front depuis plusieurs siècles, mais aussi et surtout du développement industriel et urbain qui a progressivement empiété sur le massif dunaire, l'empêchant d'évoluer librement. L'exemple le plus flagrant est celui de Scheveningen. Ce quartier de La Haye est devenu une station balnéaire imposante, dotée d'un « boulevard de mer » et d'immeubles construits sur le haut de dune, qui ont contribué à la faire totalement disparaître. Ce site très touristique, abritant un port de pêche ainsi qu'un port de plaisance, attendant à l'une des plus grosses villes du pays, représente des enjeux socio-économiques forts qui se doivent d'être préservés et ne peuvent être relocalisés.



Photos 1 à 4 : le boulevard de mer de Scheveningen. Photo 1 : extrémité nord du boulevard, au-delà de laquelle on aperçoit les grandes dunes hollandaises qui s'étendent le long de la côte hollandaise. Photo 2 : embarcadère des ferries. Photo 3 : vue sud du boulevard de mer, au second plan le port de pêche, puis au loin le port de Rotterdam. Photo 4 : vue nord du boulevard de mer : un immense complexe hôtel-casino-centre commercial ainsi que des immeubles résidentiels ont été construits sur le haut de dune. Source : S. Gueben-Venière, octobre 2013.

C'est dans ce contexte qu'a émergé une technique inédite, baptisée *ZandMotor* ou le « Moteur à sable » (Fiche 1). Ce projet résulte d'une réflexion de plusieurs années ayant envisagé la gestion du littoral dans toute sa complexité, c'est-à-dire de façon multiscalair, dynamique et pluridisciplinaire. *ZandMotor* combine en effet plusieurs échelles spatiales et temporelles. Le dépôt à Kijkduin des 21,5 millions de mètres cubes de sable a pris la forme d'un crochet de 128 hectares, dont la largeur s'étend jusqu'à un kilomètre en mer. Les initiateurs du projet espèrent ainsi protéger la bande littorale jusqu'à Scheveningen, située à une dizaine de kilomètres plus au nord du point de dépôt. Le volume de sable déposé en neuf mois, de mars à novembre 2011, est sensé protéger le littoral et renforcer les dunes existantes pendant vingt ans. De nombreux suivis ont été mis en place pour vérifier ces hypothèses et affiner les connaissances sur le temps réellement nécessaire à la dispersion des sédiments et pendant lequel la bande littorale peut être effectivement protégée. Les effets escomptés à moyen terme et au-delà de la zone de dépôt elle-même ont pu être envisagés grâce à une vision dynamique de la gestion du littoral. Or cette vision dynamique est le fruit d'une longue collaboration entre ingénieurs et scientifiques. Un ingénieur du *Rijkswaterstaat* expliquait ainsi que le suivi des rechargements en sable effectués depuis 1990 avait permis d'affiner les connaissances sur le fonctionnement dynamique du littoral et de faire le pas vers l'application directe de ces connaissances :

« La solution aurait pu faire appel aux digues, ou encore à une digue sous une dune comme cela a été le cas pour Katwijk, mais nous avons opté pour une méthode douce. Cette façon de gérer la côte est beaucoup plus intelligente car elle fait appel aux forces de la nature ; c'est donc moins d'énergie dépensée pour plus de kilomètres de côte protégés et pour plus longtemps. Cette solution prend également mieux en compte les enjeux environnementaux et les enjeux liés aux loisirs !³ »

L'uniformité des discours tenus sur les avantages de cette nouvelle technique de protection côtière, ne saurait toutefois masquer la conviction des ingénieurs rencontrés de mettre en œuvre une gestion intégrant de multiples enjeux dont des enjeux environnementaux. Ainsi, trois alternatives sur la forme à donner au dépôt massif de sable ont été envisagées (Fig. 9). Le tableau 8 reprend les caractéristiques des trois formes elles-mêmes exposées dans la figure 9.

³ « *The solution could have been dikes, or even dikes under the dunes as it has been the case for Katwijk, but we decided to choose the soft engineering way. This way of managing the coast is much more smart, because you use the forces of nature, so it's less energy to spend for more kilometers of coast protected and for a longer time. This solution takes also more into account natural values and area for recreation !* »

Fiche 1 : ZandMotor ou le "Moteur à sable"



↑ **Photo 5** : Vue aérienne oblique vers le Nord des larges dunes au nord de Schveningen. Source : Grontmij, 2010.

← **Carte 11** : Localisation du projet ZandMotor
Source : d'après Deltares, 2010.
Réalisation : S. Gueben-Venière, 2012.



Photo 6a



Photo 6b

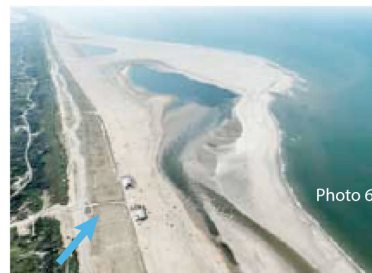


Photo 6c

Photos 6a, b et c : évolution observée du banc de sable respectivement en juillet et octobre 2011 et en mars 2012.
Source : brochure d'information d'avril 2013, www.dezandmotor.nl



Photo 7a



Photo 7b



Photo 7c

Photos 7a, b et c : vue panoramique (orientée selon flèche bleue ph. 6c) du site montrant en arrière-plan le port de Rotterdam et les nouveaux usages. Les promeneurs et amateurs de kitesurf se sont totalement appropriés ce nouvel espace. Source : S. Gueben-Venière, octobre 2013.

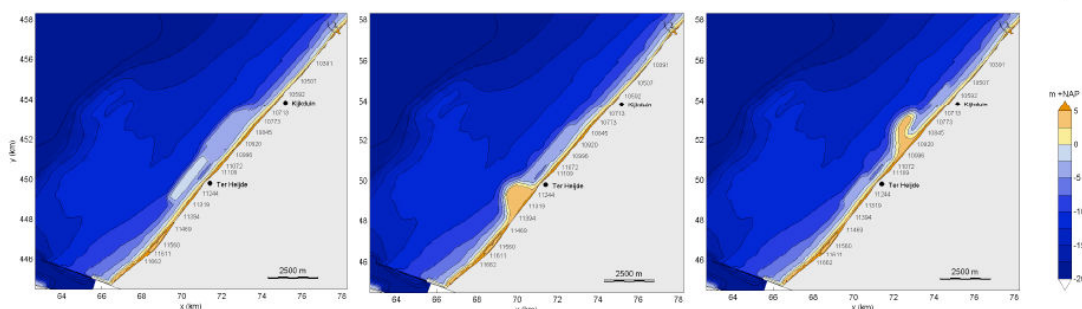


Figure 9 : Les trois alternatives envisagées sur la forme à donner au dépôt de sable.
 À gauche : la forme classique d'un banc de sable sous-marin disposé parallèlement à la côte ; au centre : un dépôt de sable en forme de cloche ; à droite : un dépôt de sable en forme de crochet (solution retenue). Source : d'après Mulder *et al.*, 2010.

Alternatives des formes envisagées	Après 1 an	Après 5 ans	Après 10 ans	Après 15 ans	Après 20 ans
Etat référent	0,2	2,6	6,2	10,8	17,0
« banc de sable »	0,3	3,5	11,0	20,1	30,6
« cloche »	1,2	7,0	16,6	28,0	38,8
« crochet »	1,6	6,8	13,7	22,7	32,9

Tableau 8 : estimations de la croissance de la dune selon les trois formes de dépôt de sable envisagées (en ha) Source : d'après Mulder *et al.*, 2010

Cette comparaison met en évidence la singularité du choix finalement retenu. En effet, les estimations prévoient un meilleur résultat pour le dépôt de sable en forme en « cloche » dès 2016 (7,0 ha d'accrétion dunaire contre 6,8 ha pour un dépôt en forme de « crochet »). Cet écart se renforce progressivement pour atteindre en 2032 une croissance respective de la dune de 38,8 ha contre 32,9 ha. C'est toutefois la forme de « crochet » qui a été retenue, malgré sa moindre efficacité. En effet, cette disposition du sable permet de créer ce que les néerlandais ont appelé un lac dunaire de faible profondeur, et d'accroître ainsi la biodiversité et les habitats intertidaux. Cette décision a été prise à l'issue de l'étude d'impact environnemental réalisée en 2009. Un second ingénieur défendait de façon enthousiaste cette décision :

« En ayant choisi cette solution et non celle de la « cloche » qui aurait a priori été efficace plus rapidement en terme de sécurité, nous avons décidé de fournir de bonnes conditions à la fois sécuritaires et environnementales »⁴.

Pourtant, à première vue, le dépôt d'une telle quantité de sable en une seule fois modifie fortement le milieu présent et ne semble pas s'inscrire dans une démarche qui se voudrait particulièrement écologique : malgré une gestion consistant à « construire avec la nature », selon le programme *Buid with Nature*, celle-ci reste associée à une nouvelle forme de conquête de terres sur la mer. Voici la réponse d'un ingénieur à cette remarque :

⁴ « By having chosen this solution and not the « bell » one which could have been more efficient in terms of safety, we have decided to provide good conditions for both safety and environment »

« Bien sûr que vous allez détruire la nature à cet endroit : 21,5 millions de mètres cube de sable vont être déversés sur une anémone ! Mais après cela – et c’est une des difficultés du design : avec un certain design donné à la forme du banc de sable, nous devrions pouvoir créer de bonnes conditions pour la nature au fil des années. En faisant de la sorte, nous voulons créer de la valeur naturelle »⁵.

Ainsi les efforts de protection des côtes néerlandaises sont intimement liés à la recherche d’une démarche de protection et de développement du milieu naturel et l’on peut voir en cette démarche non plus une conquête renouvelée de terres gagnées sur la mer mais la création d’un espace tampon entre terre et mer tel que l’exposait J. de Ruig en 1998 : *« L’idée d’intégrer le paysage marin au paysage terrestre est née il y a vingt ans. Ce plan de gestion est apparu comme une opportunité à saisir au regard du besoin d’espace dans la région densément peuplée de la ‘Randstad Hollande’ [...] »*⁶ (de Ruig, 1998, p. 131). Cependant, cette façon de justifier le choix d’un tel plan de gestion, de même que l’emploi du mot *nature* par l’interviewé posent question, car le propos semble faire prévaloir une « nature terrestre » entièrement remaniée et créée de toute pièce, au détriment du milieu marin qui lui aussi relève pourtant de la « nature ».

Un autre argument avancé par un troisième ingénieur mettait en avant la flexibilité du projet qui constitue selon ce dernier un point très positif : *« Si nos estimations sont fausses, nous devons ajuster le calendrier des futurs rechargements en sable, ce qui peut être coûteux, mais certainement moins que si nous devions renforcer une digue et compenser, par rechargement, l’érosion provoquée par la digue elle-même »⁷.*

Ainsi, cette nouvelle méthode de gestion semble remporter l’unanimité tant auprès des scientifiques que des ingénieurs. Outre les avantages écologiques décrits par l’ensemble des personnes rencontrées, les ingénieurs y voient également un nouveau défi technique à relever concernant aussi bien la précision de la modélisation effectuée en phase d’étude, que l’exécution même des travaux. Enfin, la possibilité d’exporter un nouveau savoir-faire et d’entretenir ainsi la réputation mondiale des ingénieurs hydrauliciens néerlandais semble avoir définitivement conquis ces derniers.

Toutefois, cette nouvelle technique de rechargement massif en sable, largement soutenue par la province de Hollande méridionale qui y voit par ailleurs un fort potentiel de développement touristique, ne fait pas l’objet du même enthousiasme un peu plus au nord, en Hollande septentrionale.

⁵ *« of course we are killing nature at this location : you are going to have 21,5 million cubic metres of sand on the top of an anemone ! But after that, by doing this – and this is part of the design : with a certain design we may create conditions that are good for nature through time evolving in sequence. We want to create natural values of trying to. Yet it’s a pilot, we don’t know if it will work... »*

⁶ *« The idea of incorporating the seascape into the landscape was first proposed over twenty years ago. The present plan has become appealing in light of the growing need for space to develop housing in the densely populated ‘Randstad Hollande’ [...] »*

⁷ *« If the estimations are false, we’ll have to adjust our schedule for future nourishment, which can be expensive, but certainly less than if we would have to reinforce a dike and to compensate, by nourishment, the erosion due to the dike itself ».*

2. Honsbossche zeekering en Petten : une remise en question des standards de submersion (Fiche 2)

À l'échelle du littoral nord hollandais, le site de Honsbossche zeekering en Petten forme une protubérance dessinant une avancée dans la mer. Celle-ci s'explique par les poldérisations successives des terres situées à l'est et au nord du polder depuis le haut Moyen-Âge. Les dunes situées au nord et au sud du site ont subi une érosion progressive et se trouvent aujourd'hui en recul par rapport aux digues protégeant le village de Petten au nord et les terres agricoles de Honsbossche au sud. La photo 8 montre bien ce recul dunaire et met en évidence le point faible que constituent les digues en terme de sécurité.

Une première digue de mer a été construite au devant du vieux village de Petten à l'orée du XVI^e siècle. Cet ouvrage de défense contre la mer se constituait alors de piliers de bois provenant de Norvège, entre lesquels ont été positionnés des blocs de pierre de Vilvoorde provenant de Belgique (Fig. 9). Quelques décennies plus tard, au sud de Petten, la digue de Honsbossche a été construite. Très vite, des épis faits de bois et de pierre ont été positionnés perpendiculairement à la côte dans l'espoir d'élargir la plage et de compléter ainsi le rôle défensif des digues. Au cours du XIX^e siècle, la tempête de 1862 a considérablement endommagé cette partie du littoral nord hollandais. Plusieurs ingénieurs, tels J.F.W. Conrad, soutenus par les maîtres de digue, ont alors déployé leur imagination pour tenter de fixer le trait de côte en érigeant un véritable mur protégeant de la mer Petten, ses habitants et leurs terres. Plusieurs profils de digues ont ainsi été imaginés. Les figures 11 à 13 montrent le travail de recherche qui était effectué par les ingénieurs sur le degré à donner à la pente externe de la digue pour la rendre la plus efficace possible contre l'assaut des vagues. Par ailleurs, c'est à cette époque que les digues ont été considérablement élargies (Aten *et al.*, 1997).

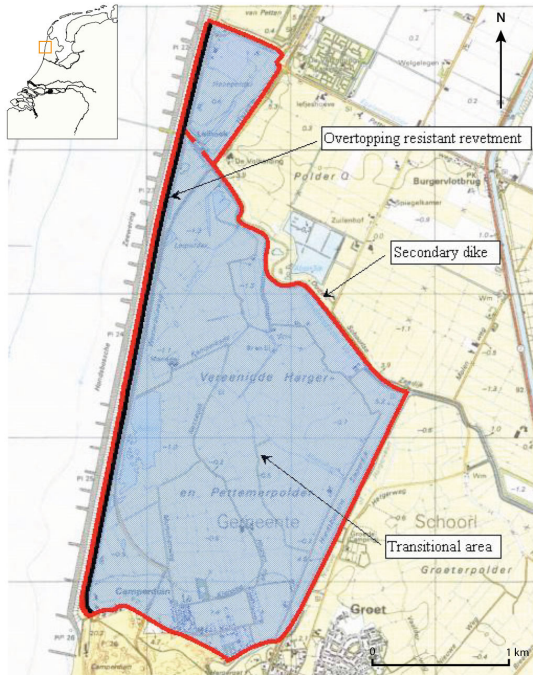
En 2007, l'agence régionale de l'eau ou *waterschap* concernée par la gestion des digues du site⁸ a proposé quatre solutions de gestion pour remédier au défaut de sécurité des digues de Honsbossche et Petten. La première solution consistait en un rehaussement de 7 m et un élargissement de 75 m des digues. Deux autres solutions faisaient intervenir des enrochements au pied de la digue, accompagnés ou non d'un rehaussement de celle-ci. La quatrième solution correspond à un rechargement en sable du pied de digue. Deux ingénieurs de l'agence régionale de l'eau, l'un contrôleur de projet, l'autre manager des questions environnementales, expliquaient pourquoi la quatrième solution avait finalement été retenue :

« Nous préférons la solution de rechargement en sable, pour une double raison. D'une part les gens qui habitent ici aiment cette solution car elle accorde plus de place aux loisirs et à la nature. D'autre part, pour nous, le rechargement en sable est une solution « sans regret ». Par exemple, si nous réalisons dans 30 ans que le niveau marin se révèle être plus élevé que ce que nous projetons aujourd'hui, nous pourrions nous adapter en modifiant le volume de sable déposé au pied de la digue, tandis que le rehaussement des digues ou les solutions d'enrochements sont moins flexibles »⁹.

⁸ Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier : HHNK

⁹ Extrait de l'entretien réalisé avec les deux ingénieurs de l'agence régionale de l'eau, en octobre 2010 : « We prefer the sand solution. There is a couple of reasons for that. The people who lived there like this solutions because it provides more possibilities for nature and recreation. And for us it's like a « no regret solution ». For example, in 30 years, if we realize

Fiche 2 : Hondsbossche zeekering en Petten vers une acceptation ponctuelle et partielle de la submersion marine ?



Carte 12 : localisation du polder de Hondsbossche. La zone encerclée de rouge appartient à Natuurmonumenten. Le village de Petten (1900 hab.) se trouve au nord.
Source : Natuurmonumenten, 2010



Photo 8 : vue aérienne vers le Nord de Hondsbossche zeekering. Source : Rijkswaterstaat, 2005.

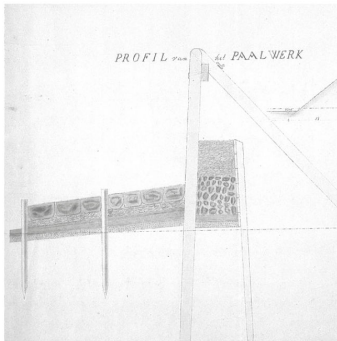
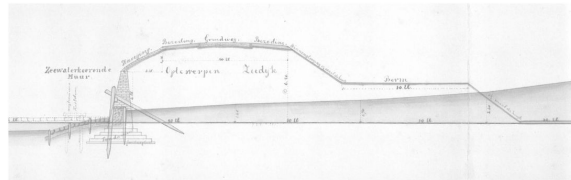
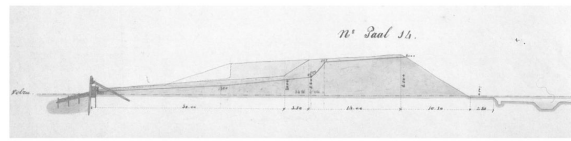
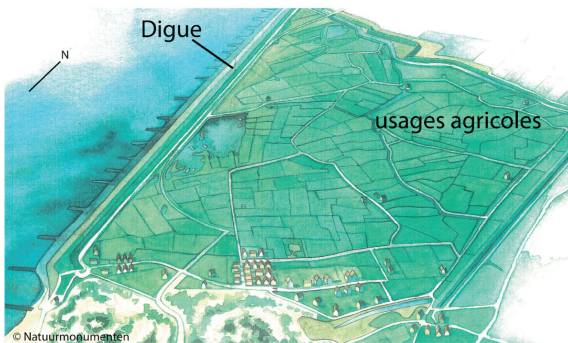


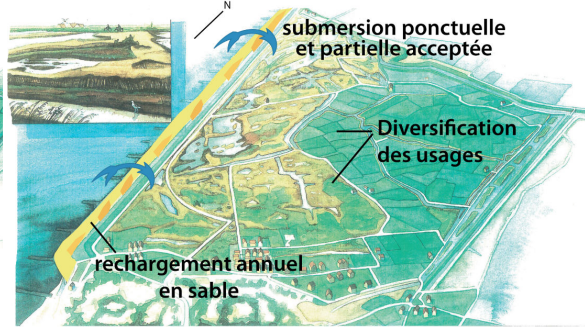
Figure 10 : Profil de la première digue construite en 1506.
Source : Aten et al., 1997

↑ **Figures 11 à 13 :** évolution des profils de digues imaginés au XIX^e siècle.
Source : Aten et al., 1997.

↓ **Figure 14a :** Le polder de Hondsbossche dans son état actuel. Source : d'après Natuurmonumenten, 2010.



↓ **Figure 14b :** Le polder de Hondsbossche. Solution imaginée et proposée par Natuurmonumenten. Source : d'après Natuurmonumenten, 2010.



that the sea is going to be a bit more higher than expected, you can adapt the volume of sand you put at the basis of the dike, whereas the concrete reinforcement solution is less flexible »

Sans véritablement s'appropriier les objectifs environnementaux permis par cette solution de gestion, les deux ingénieurs rencontrés les ont néanmoins mentionnés pour justifier le choix d'une telle solution. Ainsi, selon eux, le rechargement en sable remporte l'unanimité et la dernière question qui se posait en octobre 2010 concernait le calcul du volume de sable à déposer au pied de la digue. Cette question, présentée comme mineure et relevant d'un simple calcul, ne l'était pourtant pas, selon un ingénieur forestier travaillant pour *Natuurmonumenten*. Cette organisation de protection de la nature¹⁰ a proposé dès 2005 une variante à la solution retenue pour les polders à vocation agricole de Hondsbossche situés juste derrière les digues et dont *Natuurmonumenten* est en partie propriétaire. Cette solution combine rechargement en sable et acceptation d'une submersion ponctuelle et partielle des digues :

« La politique de gestion côtière néerlandaise a tout misé sur les digues de mer, délaissant presque les digues dormantes qui séparent les différents polders conquis. Il est donc très rare de voir aux Pays-Bas des digues dormantes dans cet état de conservation. Or c'est précisément ce qui permet d'avoir une autre approche du risque de submersion, consistant non plus à envisager les digues de mer comme seul objet de réflexion pour une gestion durable de cette portion du littoral, mais à inclure dans cette réflexion le rôle des digues dormantes¹¹ ».

L'ingénieur de *Natuurmonumenten* justifie par ailleurs la vision proposée par la très faible présence d'habitations ou fermes à Hondsbossche et la présence d'un milieu saumâtre qui s'est développé par des infiltrations régulières d'eau salée sous la digue de mer. Cette nouvelle approche repose sur une remise en question du standard de débordement des digues, fixé pour l'ensemble du pays, quelles que soient la valeur économique des terres abritées et les enjeux à protéger. À l'heure actuelle, ce standard est de 1 L/s d'eau de mer par mètre linéaire de digue. *Natuurmonumenten* propose d'élargir cette norme et d'accepter une submersion de 10 L/s d'eau de mer par mètre linéaire de digue. Or cette proposition, pourtant entendue par les différents acteurs, n'a pas été mentionnée dans l'étude d'impact environnemental rédigée en 2009 par l'agence régionale de l'eau. Ceci s'explique par le fait que, conjointement avec la Province de Hollande septentrionale, les ingénieurs de l'agence régionale de l'eau n'ont envisagé qu'une solution unique de gestion pour Hondsbossche et Petten bien que les enjeux à défendre ne soient pas les mêmes. Cette décision a été brièvement justifiée en entretien par des économies d'échelle et une plus grande simplicité de gestion, sans plus de précision...

Ainsi, la question du volume de sable à déposer au pied de la digue ne relève pas du simple calcul, tel que le mentionnaient les deux premiers ingénieurs rencontrés, mais plutôt d'une nouvelle approche de la gestion du littoral faisant appel aux digues dormantes et

¹⁰ *Natuurmonumenten* est une organisation de protection de la nature, vieille d'un siècle, regroupant environ 800 000 adhérents. Elle s'est fixée trois missions principales : une mission de gestionnaire de près de 1000 ha d'espaces naturels, une mission relative à la communication avec le public et enfin un mission de lobbying : www.natuurmonumenten.nl

¹¹ « *Coastal management in The Netherlands has always bet everything on sea dikes, almost forgetting the sleeping dikes that separate the several polders. So it is quite rare to see sleeping dikes in this state of conservation in The Netherlands. Yet, it is precisely what helps to provide another vision of the risk of marine : sea dikes are not the only structure you can take into account for a sustainable management : you can include sleeping dikes in the thinking* »

consistant à appréhender cet espace comme une zone tampon entre terre et mer. Cette différence de vision entre les deux ingénieurs techniciens et l'ingénieur forestier s'est par ailleurs confirmée lorsque la question a été posée à chacun de proposer une définition du littoral : pour les deux premiers, le littoral correspond avant tout à la première ligne de défense contre la mer, autrement aux digues de mer. La réponse formulée par l'ingénieur de *Natuurmonumenten* faisait au contraire appel à cette notion de zone tampon entre terre et mer... L'analyse du discours des ingénieurs fait l'objet du chapitre 5.

Le rechargement massif en sable renforce la résistance des dunes en place en facilitant les échanges sédimentaires depuis l'estran jusqu'au haut des dunes d'une part, et protège d'autre part le linéaire côtier grâce à la dynamique de dispersion des sédiments par la dérive littorale. Cette technique innovante permet ainsi d'éviter le recours aux épis, qui n'offrent généralement qu'une solution ultra)localisée et ponctuelle. Par ailleurs le rechargement massif en sable peut également être utilisé au pied des digues. Lorsqu'une réflexion sur une plus grande souplesse des standards de submersion des digues est parallèlement envisagée, le rechargement en sable peut offrir des avantages économiques non négligeables en plus des avantages environnementaux exposés. Ainsi, sans remettre en question la loi obligeant à maintenir la position du trait de côte tel qu'il était en 1990, cette technique montre un attachement des Néerlandais à promouvoir des solutions de gestion du littoral plus respectueuses de l'environnement.

La volonté affichée de mettre en valeur un littoral plus « vert » a également été constatée en Angleterre. Cet objectif se traduit toutefois par une mise en œuvre bien différente dans ce pays, consistant à remplacer en certains endroits les digues en place par des surfaces de schorre présentant des avantages environnementaux mais aussi des avantages défensifs désormais reconnus.

B. Quand le schorre fait concurrence au béton, en Angleterre

Sur la rive occidentale de la mer du Nord, la question reste la même : comment protéger les personnes, les activités et les biens des submersions marines et inondations tout en répondant aux exigences environnementales européennes, dans le contexte d'élévation du niveau marin ? En pratique, c'est pourtant le phénomène inverse que l'on observe en Angleterre, et nombre de projets de défense côtière se soldent par le choix technique du *managed realignment*, littéralement *réalignement contrôlé* de la première ligne de défense côtière. Ainsi, bien que localisé, un mouvement de recul du trait de côte, entamé il y a presque trente ans, s'est largement développé ces dernières années, lorsque les conditions physiques et socio-économiques l'ont permis (Goeldner-Gianella, 2013). Cette technique est désormais une « spécialité » anglaise, reconnue au-delà des frontières du royaume. Le *managed realignment* présente en effet l'avantage de répondre à un objectif défensif remettant en cause le recours systématique aux systèmes traditionnels de défense tels le rehaussement des digues, tout en permettant la restauration d'un espace intertidal écologiquement très riche. De façon plus précise, cette technique « verte » de défense permet :

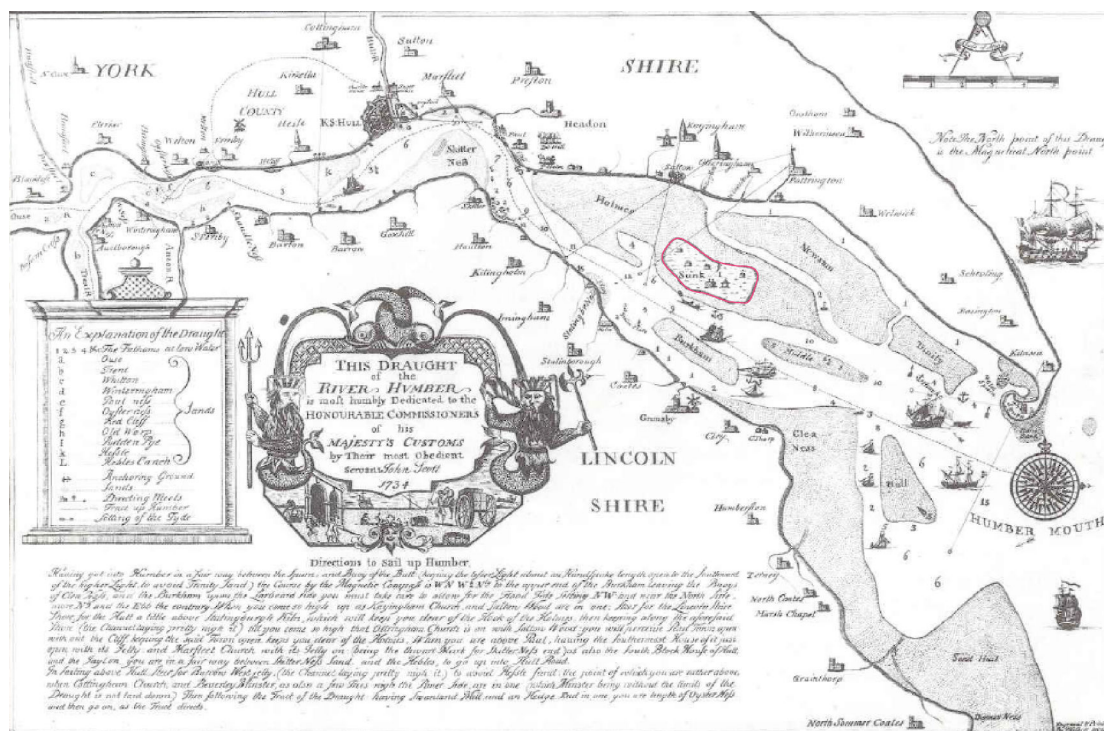
- la création d'un espace naturel de stockage du surplus d'eau en période de crue, de fortes précipitations et/ou lors de marées à fort coefficient, consistant à diminuer le volume d'eau et donc la pression exercée sur la pente externe des digues ;

- la restauration d'un espace de transition entre terre et mer, conquis par une végétation halophile, dont la principale qualité consiste à freiner la houle et à diminuer l'effet de surcote à l'approche de la terre ferme, en cas de tempête.

Deux cas d'étude ont été retenus pour illustrer ces propos : le site d'Alkborough situé en amont de l'estuaire de la Humber (rivière séparant le Yorkshire du Lincolnshire) et Abbotts Hall situé en amont de l'estuaire de la Blackwater dans l'Essex.

1. *Un réservoir naturel de stockage d'eau pour contenir les inondations de la Humber : le cas d'Alkborough*

L'estuaire de la Humber, situé au nord de l'Angleterre (54°N), résulte de la convergence d'un important faisceau de rivières occupant un large bassin versant d'environ 25 000 km², soit 1/5^e de la superficie de l'Angleterre (Everard, 2009). Ces rivières ont creusé les hauts plateaux calcaires et gréseux de la chaîne pennine à l'ouest, tandis que la période post-glaciaire a permis une accumulation sédimentaire progressive, qui confère à la partie aval de l'estuaire une topographie de plaine (IECS, 1994). L'ensemble de ces éléments a contribué à rendre l'estuaire particulièrement propice aux échanges commerciaux avec l'Europe du Nord et du Nord-Ouest dès le Moyen-Âge. Au début du XX^e siècle, l'activité maritime de la Humber était l'une des plus importantes de Grande-Bretagne et du monde (anonyme, 1919). Les poldérisations successives ont considérablement réduit la largeur de l'estuaire. L'ancienne île de Sunk, (cerclée de rouge sur la carte historique n°13) a été totalement intégrée à la rive nord de l'estuaire. De même la croissance urbaine de Hull ou de Goole plus en amont sur la rive sud ont augmenté progressivement la vulnérabilité des terres bordant l'estuaire face aux risques inondation et submersion marine.



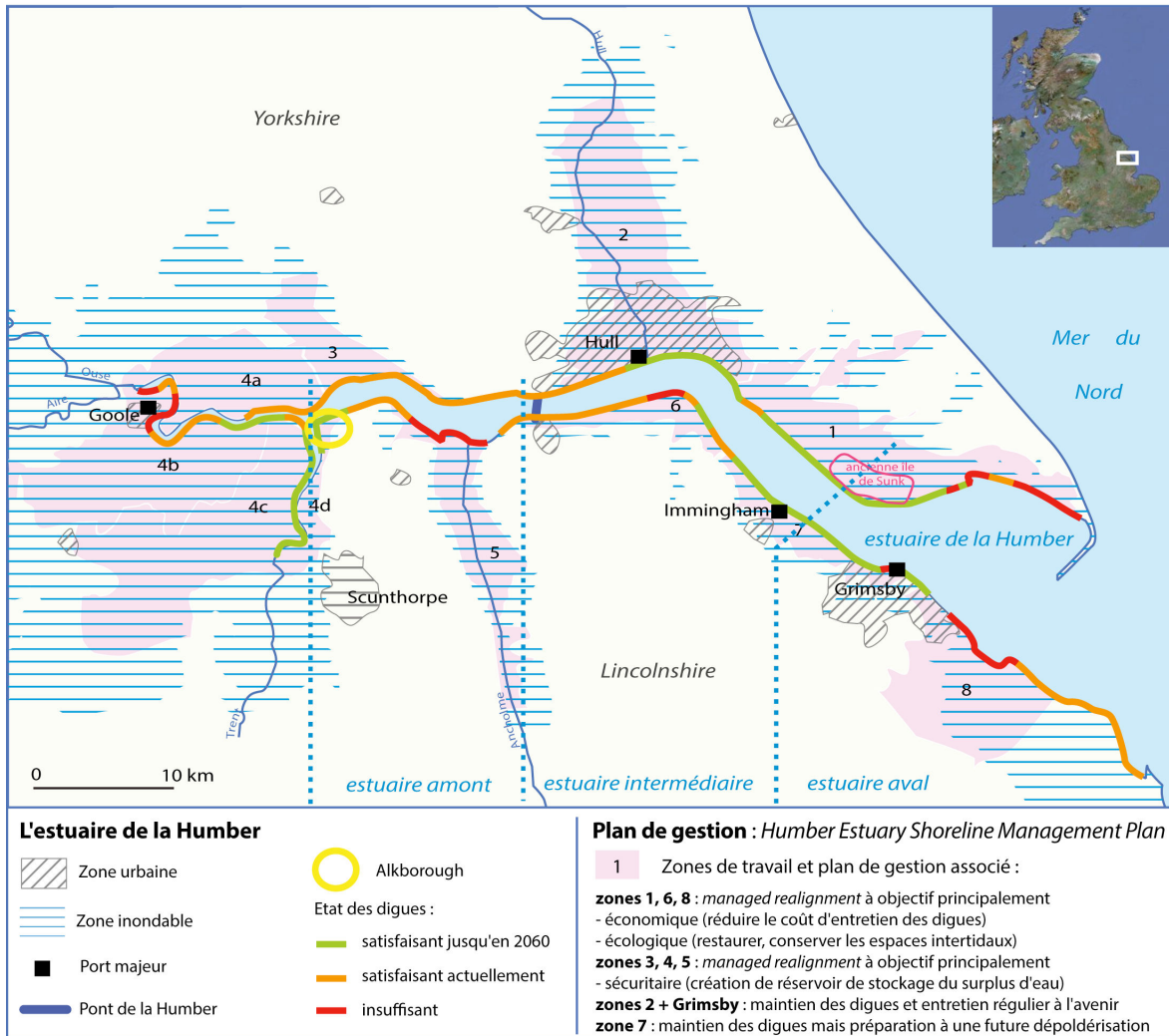
Carte 13 : Carte historique de l'estuaire de la Humber (1734).

Source : Humber Estuary Admiralty Chart, www.tide-project.eu

Aujourd'hui, environ 90 000 ha de terres, abritant près de 500 000 personnes, sont situés en zone inondable. Cependant les sites urbanisés et les activités industrialo-portuaires se concentrent sur 20 % des rives de l'estuaire. Sur les 235 km de digues bordant l'estuaire, 80 % protègent en effet des terres agricoles (EA, 2008). L'estuaire constitue par ailleurs un lieu d'accueil privilégié pour de nombreux oiseaux migrateurs. Aujourd'hui, l'ensemble de l'estuaire est soumis aux directives Habitats et Oiseaux : si des habitats spécifiques protégés sont perdus par industrialisation, urbanisation de sites ou encore à cause de l'élévation du niveau marin, ceux-ci doivent être remplacés.

Au milieu des années 1990, le gouvernement s'est penché sur l'efficacité des digues. En effet, ces dernières avaient été rehaussées au lendemain de la tempête de 1953 qui avait provoqué de lourds dégâts dans cette partie du pays, mais aucun plan de gestion n'avait réellement été mis en place et les digues n'avaient pas fait l'objet d'un entretien régulier. Or en quarante ans le contexte avait fortement évolué et plusieurs facteurs devaient désormais être pris en compte : un facteur écologique principalement lié à l'obligation de faire respecter les directives Oiseaux et Habitats d'une part ; l'augmentation de la vulnérabilité de l'estuaire liée à une croissance de la population, au développement des activités portuaires mais aussi au rythme incertain de l'élévation du niveau marin d'autre part. Par conséquent, la méthode consistant à rehausser de quelques centimètres l'ensemble du réseau de digues n'était plus adéquate et trop coûteuse. Le problème méritait donc une nouvelle réflexion de gestion et une vision globale de l'ensemble de l'estuaire.

Fiche 3 : Alkborough ou le régulateur "vert" des inondations de la Humber



Carte 14 : Localisation d'Alkborough, état des digues de l'estuaire de la Humber. *Source : d'après EA, 2008 ; EA, 2007 ; Edwards, 2004 ; HCCESC, 1994. Réalisation : S. Gueben-Venière*

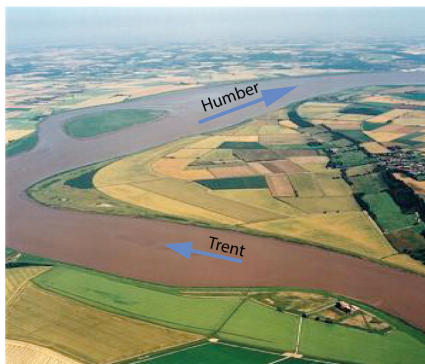
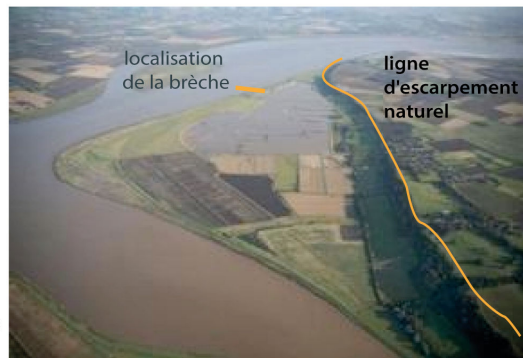


Photo 9 : Alkborough avant managed realignment. Vue ENE. *Source : Halcrow, 2004*

Photo 10 : Alkborough après managed realignment. Vue ENE. *Source : Peter Smith, 2007*

Photo 11 : Alkborough après managed realignment vu depuis l'escarpement naturel. *Source : S. Gueben-Veniere, juillet 2011*



dans le *Humber Estuary Shoreline Management Plan* (HESMP). L'intérêt principal de ce plan de gestion tient aux échelles de réflexion prises en compte : une échelle large prenant en compte l'ensemble géographique du bassin versant de l'estuaire ; une échelle moyenne distinguant trois sous-groupes : la partie amont de l'estuaire (de Goole jusqu'au pont de la Humber), la partie intermédiaire et la partie aval (allant du pont jusqu'à l'embouchure du fleuve) ; enfin, une échelle plus grande regroupant huit zones de travail de quelques centaines d'hectares chacune. Ce découpage spatial présente l'avantage de pouvoir tenir compte des impacts d'une option de gestion locale sur les zones voisines et de produire ainsi un ensemble cohérent de défense contre les inondations et submersions marines répondant également à des enjeux socio-économiques et environnementaux.

L'une des solutions proposées par le HESMP consistait à pratiquer le *managed realignment*. Alkborough est le premier site de l'estuaire à avoir été dépoldérisé à cet effet. Le choix d'une opération de *managed realignment* à Alkborough s'explique par des raisons physiques et socio-économiques. Ce site de 440 hectares n'abritait aucune habitation et disposait de 375 hectares de terres agricoles, protégées depuis 1956 par une digue de terre. Par ailleurs, le site d'Alkborough se trouve à la confluence des rivières Trent et Humber, dans la zone amont de l'estuaire, et est précédé d'un escarpement naturel, protégeant définitivement les habitations situées en amont. L'emplacement était donc idéal pour réaliser une opération de la sorte. La réouverture du site s'est opérée en 2008 par le biais d'une brèche dotée d'un seuil permettant l'inondation contrôlée des terres à chaque marée. Avec une brèche de 30 m de large, 40 % du site aurait été submergé au cours d'environ 500 marées par an. Après étude, une brèche plus restreinte de 20 m a finalement été retenue, de façon à pouvoir maintenir un niveau d'eau suffisant pour la navigation dans l'estuaire.



Photo 12 : seuil mis en place pour l'ouverture du site d'Alkborough.
Source : Artélia, 2012 d'après Halcrow, 2009

L'objectif premier était de créer un réservoir de stockage du surplus d'eau en cas de fortes précipitations - qui peuvent être particulièrement intenses dans cette région du pays - de surcroît lorsque celles-ci sont accompagnées d'une remontée de marée à fort coefficient. Le site-réservoir d'Alkborough est désormais en mesure d'abaisser de 15 cm les niveaux extrêmes d'eau sur l'ensemble de l'estuaire et donc de protéger les zones contiguës au site en diminuant la pression de l'eau exercée sur les digues voisines. D'autres sites se trouvant dans les zones 3, 4 et 5 doivent également faire l'objet d'une dépoldérisation pour servir les mêmes objectifs défensifs.

L'agence de l'Environnement réunit l'ancienne National Rivers Authority, le Majesty's Inspectorate of Pollution et les autorités de régulation de la pollution en Angleterre et au pays de Galles. L'Agence de l'Environnement est la principale autorité en matière de gestion du risque inondation et submersion marine.

Sans toutefois exprimer un avis personnel sur les contraintes environnementales imposées par les deux directives européennes, l'ingénieur en charge du projet de gestion de l'estuaire de la Humber¹³ exposait les difficultés de communication avec le public que de telles contraintes impliquaient : « *Beaucoup d'habitants pensent perdre du terrain au profit de la restauration d'habitats perdus et voient dans cette démarche plus de droits accordés aux oiseaux qu'aux gens*¹⁴ ». En effet, les compensations écologiques effectuées le long de l'estuaire doivent strictement respecter un zonage en trois secteurs : parties amont, centrale et aval de l'estuaire. Ainsi des habitats écologiques perdus dans la partie aval de l'estuaire – partie la plus industrialisée – ne peuvent être par exemple recréés dans sa partie amont *a priori* plus disponible car moins urbanisée et industrialisée. Le marnage, la topographie et autres caractéristiques physiques contribuent en effet à différencier les milieux et les habitats des trois secteurs.

Pourtant, loin de n'y voir qu'un manque de souplesse, l'ingénieur mettait en exergue la complémentarité de l'ingénierie technique et de l'écologie : « *en somme, le savoir-faire technique de l'ingénieur peut être mis au service d'un objectif écologique et plus seulement sécuritaire*¹⁵ ». C'est ainsi que l'Agence de l'Environnement a proposé à *Natural England*¹⁶, en charge de faire respecter la mise en œuvre des directives Oiseaux et Habitats, de recréer en amont de l'estuaire des sites offrant les conditions physiques nécessaires à l'accueil des oiseaux résidant en aval de l'estuaire, tels les échassiers. Cette solution de compromis est certes contrainte par la législation européenne en vigueur, mais montre néanmoins une certaine adaptation des ingénieurs qui proposent ainsi de mettre leurs connaissances techniques au service d'un enjeu cette fois uniquement écologique. Le manque de certitude sur la capacité à maintenir les conditions recréées, et par conséquent l'efficacité écologique de la solution, n'a pas permis à *Natural England* de donner pour l'instant une réponse positive à cette suggestion, mais la réflexion reste ouverte.

2. Du schorre pour protéger les terres d'Abbotts Hall de l'élévation du niveau marin

Parallèlement à cette fonction de stockage des surplus d'eau, le *managed realignment* permet, par la création d'un espace intertidal principalement composé de schorre, de remédier au phénomène de *coastal squeeze*. Ce dernier, que l'on peut traduire littéralement par *compression côtière*, désigne la diminution de la surface intertidale provoquée par la combinaison de l'implantation d'ouvrages de défense côtière et l'élévation du niveau marin. Le *coastal squeeze* entraîne donc un double problème : une perte d'habitats naturels et une augmentation des coûts d'entretien des digues alors directement confrontées à l'assaut des vagues. Or le comté de l'Essex, protégé par 640 km de digues - ce qui représente 1,5 fois le

¹³ Il s'agit d'un *Chartered Engineer* travaillant au sein de l'Agence de l'Environnement

¹⁴ « *Many local people at risk of losing land to replace lost habitat view this as a case of birds having more rights than people* »

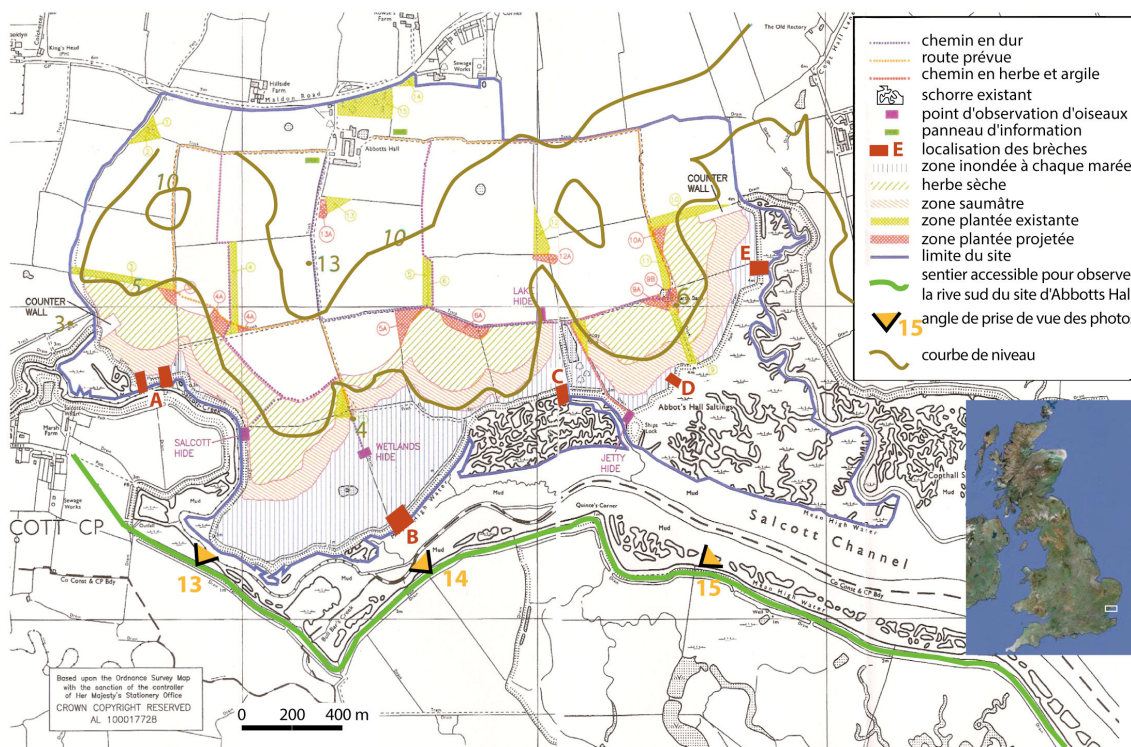
¹⁵ « *After all, engineers' technical know-how can be used to serve an ecological issue and not only a safety one* »

¹⁶ *Natural England* est une organisation non départementale créée en 2006 à la suite du *National Environmental and Rural Communities Act*. *Natural England* réunit la *Countryside Agency*, *English Nature* et *Rural Department Service*. C'est la principale autorité anglaise en matière de protection de l'environnement dans les domaines de la flore, la faune, la pollution de l'eau douce, de la mer, des sols et sous-sols.

linéaire côtier néerlandais - est particulièrement concerné par le phénomène de *coastal squeeze*. Au fil des siècles, l'Essex a ainsi perdu 40 000 hectares de prés salés, dont 5500 pour l'estuaire de la Blackwater (The Essex Wildlife Trust, 2004). L'évolution du site d'Abbotts Hall (287 ha), qui se situe le long de la rive nord du Salcott Channel, bras de l'estuaire de la Blackwater, illustre particulièrement bien ce cas de figure (Fiche 4).

La zone nord du site abrite l'ancien manoir d'Abbotts Hall, naturellement protégé par une topographie favorable (supérieure 10 m d'altitude). La partie sud, comprise entre 0 et 5 m d'altitude, a progressivement été conquise par l'édifice de simples levées de terre à la fin du XV^e siècle pour développer le pâturage, puis par la construction de véritables digues de terre pour protéger des intrusions marines les terres arables (Dixon, 1996). Au fil des tempêtes, les digues ont été ponctuellement confortées et particulièrement élargies à la suite de la tempête de 1953 qui avait inondé les bas-champs du site (The Essex Wildlife Trust, 2004). L'évolution des endiguements à Abbotts Hall n'est pas un cas isolé, et d'une façon générale, la région de l'East Anglia a une longue tradition d'endiguements successifs à visée agricole depuis l'époque romaine. Les ouvrages de défense contre les submersions marines ou inondations ont donc joué un rôle fondamental dans l'économie de cette région (de la Vega-Leinert, 2001). Mais la valeur économique des terres cultivées ne justifiait plus au milieu des années 1990 le coût d'entretien des digues dont l'état de fragilité, mesuré en 1996, n'assurait qu'un faible niveau de sécurité correspondant à 1 risque sur 6 par an qu'une inondation ait lieu (Royal Haskoning, 2001). Par ailleurs, la région est l'une des plus concernées d'Angleterre par la subsidence des terres - compensation du rebond isostasique postglaciaire toujours en cours - qui contribue à accélérer la montée du niveau marin relatif (Paskoff, 2001). Ainsi, la question du coût d'entretien des ouvrages de protection de l'East Anglia se pose à double titre. Une étude réalisée en 1995 a montré que, bien qu'il paraissait justifiable économiquement de protéger l'ensemble de la côte à l'échelle régionale, cela n'était pas aussi évident à l'échelle locale : « *en considérant chaque secteur littoral individuellement, il serait plus rentable et plus viable d'un point de vue environnemental d'adopter une politique de recul stratégique sur plus de 20 % de ces secteurs* » (Turner *et al.*, 1995, in de la Vega-Leinert, 2001, p. 52). Cette affirmation est d'autant plus fondée que les auteurs de l'étude se basaient sur une estimation très basse d'une élévation de 20 cm par siècle du niveau de la mer (de la Vega-Leinert, 2001).

Fiche 4 : des digues au schorre pour protéger les terres d'Abbotts Hall



Carte 15 : localisation et description du projet de managed realignment d'Abbotts Halls.
 Source : d'après Royal Haskoning, 2001, modifiée.



Photo 13 : vue du site d'Abbotts Hall depuis la rive sud du Salcott Channel. Le 1er plan de la rive nord montre la reconstruction du schorre. Au loin et en hauteur, l'ancien manoir d'Abbotts Hall
 Source : S. Gueben-Venière, Août 2011.



Photo 15
 vue sud-ouest nord-est du Salcott Channel.
 Source : S. Gueben-Venière, Août 2011



Photo 14 : brèche ouverte dans la digue, correspondant à la brèche B sur la carte. Les strates du paysage sont bien mises en valeur : derrière la digue, le schorre, puis les champs agricoles et le nord du site surélevé.
 Source : S. Gueben-Venière, Août 2011.

« Quand j'ai commencé à travailler pour National Rivers Authority, devenue Environment Agency, je devais estimer le coût des endiguements. Durant ce travail, j'ai pensé : « cinq ans, huit ans auparavant, nous avons déjà dépensé £4 millions sur ce linéaire de digue seulement pour quelques champs. Qui paie pour ça ? Certainement pas l'agriculteur. C'est le citoyen qui paie des taxes ». J'ai donc commencé à être désillusionné par l'approche générale de la défense contre la mer. Tout cela était fait par des ingénieurs « classiques » : du gouvernement au ministère, aux organisations pour lesquelles j'ai travaillé, tout était dirigé par les ingénieurs. Et donc j'ai commencé à m'interroger sur la façon dont on procédait. Puis, de ma propre initiative, j'ai rassemblé divers articles publiés un peu partout dans le monde sur les prés salés et les vasières. Je n'avais aucune formation dans ce domaine. J'ai fait ça pendant quatre ans. Je pensais qu'il y avait une meilleure façon de faire et que ce que nous nous obstinions à faire était ridicule. [...] Et donc, depuis les vingt dernières années, je me suis investi pour promouvoir des solutions faisant intervenir les systèmes naturels pour assurer la sécurité des gens »¹⁷.

Les propos tenus dans cet extrait d'entretien montrent la singularité de la réflexion de cet ingénieur et l'importance de sa démarche personnelle pour sortir des sentiers battus et chercher une solution alternative aux méthodes classiques de protection côtière jusque-là prônées par l'ensemble de la profession.

Après avoir été racheté par The Essex Wildlife Trust¹⁸, le site d'Abbotts Hall a fait l'objet d'une première opération de *managed realignment* par brèche dès 1996 sur une superficie de quelques hectares (brèche B sur la fiche n°4). En 2002, l'opération a été renouvelée pour être étendue à 85 hectares. Cette expérience pilote était particulièrement importante pour les ingénieurs en charge de la gestion côtière, et ce à double titre. En effet, les avantages économiques du *managed realignment* avaient certes fait l'objet de nombreuses publications et le lien entre largeur du schorre au-devant de la digue et hauteur de l'ouvrage avait été établi au début des années 1990, tel que l'indique la figure suivante, mais ces chiffres relevaient de la théorie et trop peu d'expériences avaient été menées pour valider ces hypothèses.

¹⁷ Extrait d'entretien d'un *Chartered Engineer* : « When I started to work with National Rivers Authority (now Environment Agency) I was involved in building the estimation of the cost of embankments. And during this process I thought : « five years ago, eight years ago, we just spent £4 million on this length of embankment only for some wheat fields. So who is paying for this ? Certainly not the farmer. It was ordinary taxpayer ». So I started to get disillusioned with the whole approach to sea defenses. It was all done by « classical engineers » : from the government to the Ministry, to the organisations I worked for, it was completely engineer-led. And so I started to query the whole concept of why are we doing this ? And so off my own back I started getting various papers from around the globe and investigating saltmarshes and mudflats... I had no background or training in this. I spent four years doing this in my own time. I thought there has a better way and that what we used to do was ridiculous. [...] And so for the last 20 years or more, I have been involved in looking at the way natural systems can provide defense and security to people ».

¹⁸ Organisation de protection de la vie sauvage de l'Essex, fondée en 1959

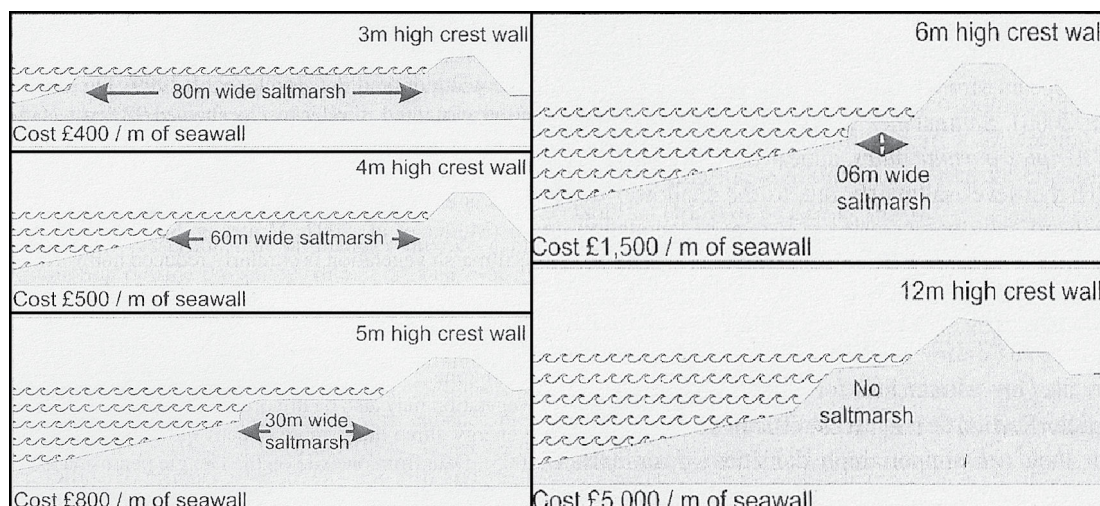


Figure 15 : efficacité économique et défensive du schorre. Source : Doody, 2008, d'après Toft *et al.*, 1995.

Les indications théoriques du coût de la défense côtière (basée sur les prix du début des années 1990) proposées par Toft *et al.* mettent bien en évidence le rôle du schorre : une largeur de schorre de 80 m engendre une hauteur de digue d'environ 3 m pour un coût du mètre linéaire de £ 400 tandis que la hauteur de digue est multipliée par quatre et le prix au mètre linéaire par plus de dix en l'absence de schorre.

Par ailleurs, les modèles numériques de terrain utilisés jusqu'alors pour prévoir les comportements hydro-sédimentaires de terres dépoldérisées possédaient une précision toute relative, ce qui pouvait servir d'arguments au public pour s'opposer à cette nouvelle technique ainsi que l'explique une autre ingénieur rencontrée à l'Agence de l'Environnement :

« (...) du point de vue de l'Agence de l'Environnement, nous avons besoin de démontrer aux gens que nos modèles étaient bons pour étendre ce mode de gestion. Nous avons en effet réalisé que la validité des modèles était très importante pour communiquer sur ce nouveau mode de gestion¹⁹ ».

Abbotts Hall a donc permis une démonstration grandeur nature des conséquences hydro-sédimentaires, mais aussi socio-économiques du *managed realignment* ainsi qu'une réflexion à moyen et long termes sur la capacité de cette technique à contenir l'élévation du niveau marin et à contrer le phénomène de *coastal squeeze*. La recolonisation et l'extension du schorre à la suite de la réouverture du site ont fait de cette expérience de *managed realignment* une réussite écologique. En un an, le site a été colonisé par plusieurs nouvelles espèces végétales et une dizaine de nouvelles espèces de poissons. De même, le nombre et la variété des espèces d'oiseaux accueillis ont considérablement augmenté. En matière économique, là encore un plus grand recul est nécessaire pour mesurer les économies permises par cette technique de protection côtière, mais les estimations, avant réalisation du projet, tablaient sur £ 500 000 en dix ans par rapport aux protections côtières classiques²⁰.

¹⁹ « from the Environment Agency's perspective, we needed to demonstrate to people that our models were good, because if you wanted to do more managed realignment, we needed people to have confidence in the models : at this point we started to realise that models becoming very important to the engagement process of communicating things »

²⁰ informations fournies par le site Natura 2000 : www.natura.org/sites_uk_abbotts.html

Pour ce qui concerne l'efficacité sécuritaire de l'opération, la largeur du schorre recréé, variant de 400 à environ 850 m, a contribué à atténuer les petites vagues et disperser la houle (ComCoast, 2007). Toutefois, un plus grand recul est nécessaire pour mesurer avec précision les effets hydrosédimentaires de la technique et son efficacité contre les surcotes. Ainsi, plusieurs suivis ont été mis en œuvre pour tenter de mesurer la prévalence de certains facteurs tels l'importance de la marée (hauteur, vitesse et courants), le niveau de concentration des sédiments en suspension, la bathymétrie du Salcott Channel et des estuaires adjacents, la topographie du site remodelé, le taux de sédimentation au cours d'un cycle de marée... Cependant, si les effets réels de l'opération de *managed realignment* réalisée à Abbotts Hall manquent encore de précisions, une étude comparative menée en 2011 sur le rôle défensif du schorre en Europe et en Amérique du nord permet de conforter ce choix de protection côtière (Shepard *et al.*, 2011). Ainsi, les auteurs confirment que la restauration du schorre agit en particulier sur l'atténuation des vagues et la stabilisation du trait de côte. Pour optimiser ces effets, la largeur du schorre doit être au minimum de 10 m, condition que la dépoldérisation partielle du site d'Abbotts Hall remplit largement. Intervient également dans l'atténuation des vagues, la densité végétale du schorre restauré : plus elle est forte, plus le schorre est efficace. En ce qui concerne la stabilisation du trait de côte, c'est-à-dire l'équilibre sédimentaire entre accrétion et érosion, l'ampleur de la surface de schorre inondée à chaque marée et la quantité de biomasse produite constituent les deux facteurs principaux.

Ce cas d'étude confirme l'objectif premier et le rôle des ingénieurs en charge de la gestion du littoral : assurer la sécurité des populations littorales. Ce qui a évolué en revanche sont les modalités économiques et environnementales de mise en œuvre de la protection côtière. La restauration du schorre présente en effet de nombreux avantages tant défensif, qu'environnemental et économique. Cette solution innovante de gestion du littoral a été étudiée et mise en œuvre dès le début des années 1990 par le MAFF (Ministry of Agriculture, Fisheries and Food) à l'époque, et en 1999, les ingénieurs et les écologues britanniques faisaient déjà figure de pionniers en matière de dépoldérisation à visée défensive (Goeldner-Gianella, 1999). Depuis lors, cette technique n'a cessé de se développer, et les côtes sud et est de l'Angleterre comptent aujourd'hui près de trente dépoldérisations réalisées ou décidées (Goeldner-Ginaella, 2013). Les avantages environnementaux, mais aussi défensifs et économiques du *managed realignment* semblent constituer le moteur de l'ouverture des ingénieurs à cette solution innovante de gestion côtière.

La prise en compte de la dynamique littorale dans les solutions de gestion désormais envisagées semble également admise par les ingénieurs français. Cette nouvelle donne a engendré une véritable remise en question des modes technicistes de gestion mis en œuvre jusqu'à présent. Le cas de la lagune de la Belle Henriette, en Vendée, illustre particulièrement bien la rupture récente qui marque l'évolution de la gestion du littoral atlantique français.

C. Une gestion de plus en plus verte en France ? Le cas de la lagune de la Belle Henriette

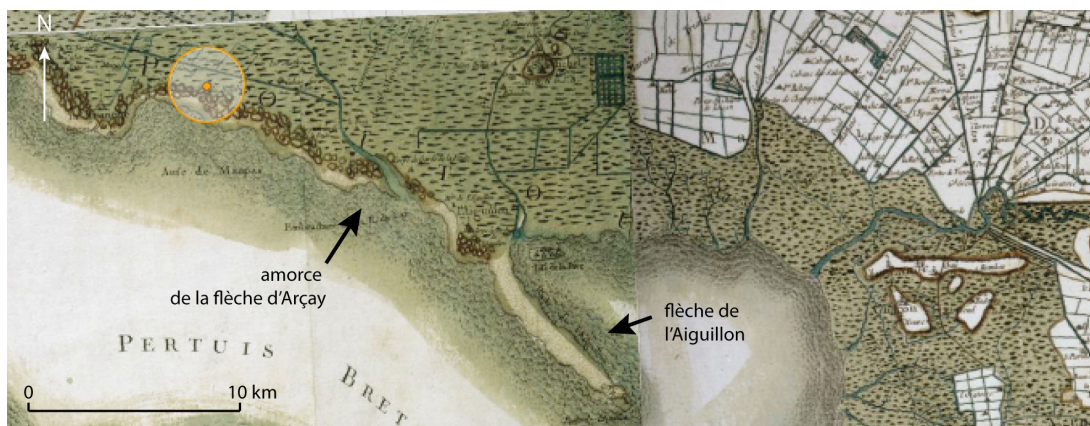
La Belle Henriette porte bien son nom ! Cette lagune à la superficie pourtant restreinte (170 ha) renferme une juxtaposition de milieux particulièrement riches et le promeneur, même profane, ne saurait être insensible à la lumière, aux couleurs et à la vie de ce lieu. Le site, qui se déploie d'est en ouest sur les communes de la Tranche-sur-Mer (74 ha) et de la Faute-sur-Mer (94 ha), fait aujourd'hui l'objet de nombreuses protections environnementales. Couverte par une ZNIEFF de type 1²¹, la lagune de la Belle Henriette bénéficie depuis août 2011 du statut de Réserve Naturelle Nationale et est également intégrée au périmètre Natura 2000 du Marais poitevin. Au total, une grande diversité d'associations végétales et une vingtaine d'espèces animales (dont huit relèvent des directives Habitats et Oiseaux) évoluent dans les milieux dunaires, les dépressions humides sablo-vaseuses, les marais saumâtres ou encore les roselières que recouvre la jeune lagune (carte 19). Ce paysage de lagune en effet, n'existait pas il y a à peine plus d'un siècle. Il s'est formé progressivement dans un contexte local et régional particulièrement dynamique.

Située sur le flanc nord du Pertuis Breton lui-même protégé au sud par l'île de Ré, la casse de la Belle Henriette²² s'est formée sous l'action d'une dérive littorale de direction sud-est particulièrement prononcée. L'énergie de ce courant marin résulte d'une houle atlantique venant s'abattre sur les côtes vendéennes abritant le marais poitevin, et s'engouffre à l'ouest du Pertuis (Verger, 2005). Ainsi, trois flèches sableuses se sont étendues du nord-ouest vers le sud-est. La première est la flèche de l'Aiguillon, très mobile, puis progressivement fixée sur sa rive nord par poldérisation successive de l'Anse de l'Aiguillon dès le XVIII^e siècle et définitivement immobilisée en 1863 par la construction de la digue du Génie²³ le long de sa rive sud (Verger, 2005). Parallèlement à cette formation, une seconde flèche dunaire – la Pointe d'Arçay – a progressé un peu plus au sud, permettant ainsi au Lay de trouver un exutoire définitif entre les deux pointes au début du XX^e siècle (Musereau, 2009). Enfin, la plus jeune, la flèche de la Belle Henriette, se trouve en amont des deux premières. Elle ne présentait en 1907 qu'une avancée très courte assortie de deux petits crochets et offre aujourd'hui une dune vive d'un peu plus de 4 km de long (Pinot, 1998 ; Vanroye *et al.*, 2012). La comparaison des cartes de Cassini (1747) et d'État Major (1850) avec une photographie satellite récente atteste cette rapide évolution pour l'ensemble du secteur et montre par ailleurs la forte érosion du cordon dunaire au droit de la Belle Henriette, en amont de la flèche sableuse de la Pointe d'Arçay.

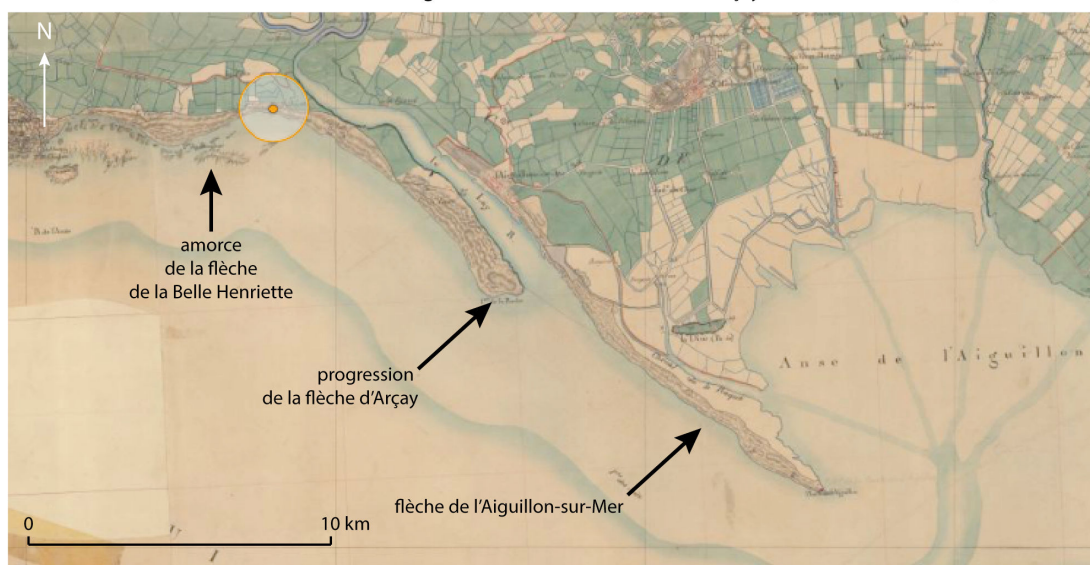
²¹ ZNIEFF (Zone Naturelle d'Intérêt Écologique, Faunistique et Floristique) de type I : secteurs de superficie en général limitée, caractérisés par la présence d'espèces, d'associations d'espèces ou de milieux rares, remarquables ou caractéristiques du patrimoine naturel national ou régional.

²² Nom local donné à une lagune.

²³ La digue du Génie doit son nom à la renommée des ingénieurs du corps du génie civil sous le Second Empire (site de la commune de L'Aiguillon-sur-Mer : www.laiguillon-sur-mer.fr/decouvrir-la-station/patrimoine/)



Carte 16 : Présence de la flèche mobile de l'Aiguillon et amorce de la flèche d'Arçay. Source : carte de Cassini (1747)



Carte 17 : Fixation de la rive nord de la flèche de l'Aiguillon, progression de la pointe d'Arçay et amorce de la flèche de la Belle Henriette. Source : carte d'Etat Major (1850).



Photo 16 : Flèche de l'Aiguillon entièrement fixée, progression de la Pointe d'Arçay et fermeture de la lagune de la Belle Henriette par rattachement de la flèche sableuse aujourd'hui confondue avec la côte. Source : Google map (2013)

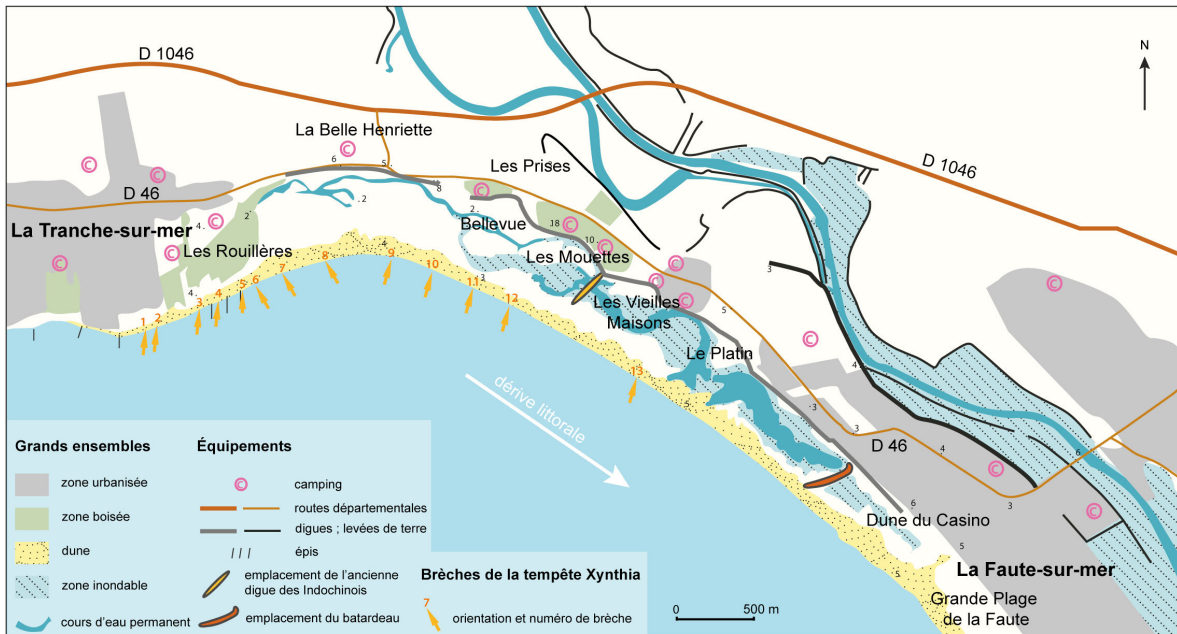
Au début du XX^e siècle, le site de la Belle Henriette offrait un paysage assez proche de ce que l'on peut observer aujourd'hui (Musereau, 2009). Mais, dans un contexte aussi dynamique, ce n'est pas sans peine que les hommes ont réussi, pour un certain temps seulement, à fixer ce qui, par essence, est mobile. Fixer le cordon dunaire pour protéger les Vendéens de l'attaque des vagues, tel est le leitmotiv, plus fort que les tempêtes successives, qui a guidé tout au long du XX^e siècle habitants et ingénieurs des Ponts et Chaussées. Le tableau 9 résume les grandes tempêtes qui ont sévi dans ce secteur, du début du XX^e siècle jusqu'à la tempête Xynthia, survenue en février 2010, et détaille les principales conséquences humaines, matérielles et géomorphologiques du site ainsi que les réponses techniques mises en œuvre pour assurer la protection des populations et préserver les principaux enjeux en présence.

Ainsi, au fil des tempêtes mais aussi de l'évolution des enjeux en présence et notamment du fort développement touristique à partir de 1950, les réponses de gestion des ingénieurs ont consisté en un équipement croissant du site. L'évolution du positionnement des équipements tout au long du XX^e siècle montre bien la non prise en compte par les ingénieurs de l'époque du caractère hautement dynamique de la flèche de la Belle Henriette. L'endiguement du cordon littoral, au nord de la lagune, de même que la digue des Indochinois, construite en 1947 et détruite dix ans plus tard, n'ont pas résisté à l'assaut des tempêtes successives, mais ont parallèlement permis le développement de l'urbanisation et de campings, augmentant ainsi le risque de submersion. De même, la mise en place d'un batardeau pour définitivement fermer la lagune, s'il a stabilisé le trait de côte au devant de la Belle Henriette, n'a fait qu'accentuer l'érosion en amont de la dérive littorale. Les épis ont alors pris le relais des endiguements au droit de la Tranche-sur-Mer, mais là encore le problème a été déplacé plus aval, nécessitant une autre série d'épis au devant des Rouillères. La tempête Klaus de 1999 n'a pas modifié le mode de gestion du site et la brèche créée a été comblée comme ce qui se faisait jusqu'à présent pour maintenir ponctuellement la flèche sableuse et isoler la lagune de la mer.

Date et caractéristiques de l'événement	Principales conséquences pour le site	Enjeux présents	Réponses et/ou décisions techniques
1906 : vents Sud-Ouest coeff. de marée de 74	Plusieurs brèches se forment. La mer franchit la route reliant les villages de la Tranche-sur-mer et la Faute-sur-mer.	Champs cultivables.	Réalisation d'un enrochement de 1200 m de long visant à fixer le cordon dunaire 1907/08 : construction d'une digue de confortement de 600 m de long
1911 : vents d'Ouest pendant plusieurs jours consécutifs coeff. de marée de 89	Une nouvelle brèche perce la flèche dunaire		
1928 : vents d'Ouest, forte houle coeff. de marée de 110	Une nouvelle brèche Inondations sévères : 120 ha de marais inondés, le village de la Faute-sur-mer est encerclé par la mer	Développement du tourisme : années 1920	Construction d'une digue de béton de 600 m de long, le long du village Mise en place d'épis en amont de la dérive littorale
1930 : dépression de type « explosif » : vents au plus forts et pression au plus bas à l'approche des côtes	Les constructions récentes cèdent Fermeture temporaire de la lagune		
Années 1940 : Plusieurs violentes tempêtes	La lagune s'ouvre de nouveau et communique avec la mer		
1947 :		Reprise du tourisme balnéaire. Volonté des professionnels du tourisme de faciliter l'accès à la plage de la Faute-sur-mer.	Construction de la « digue des Indochinois » venant barrer la lagune au niveau de l'Anse des Mouettes.
1957 : Vents forts associés à un très fort coefficient de marée de 115	Après s'être refermée naturellement, la lagune s'ouvre de nouveau à la mer par le biais d'une brèche.	1951 : création d'une réserve de chasse terrestre et marine de 1000 ha comprenant la lagune de la Belle Henriette.	La « digue des Indochinois » se rompt
1971-73			Décision de fermer définitivement l'ensemble de la lagune. Mise en place d'un batardeau de façon à relier la flèche sableuse à la plage de la Faute-sur-mer.
1973-83	Stabilisation du trait de côte au devant de la Belle Henriette. Érosion accrue en amont de la lagune		Pose d'épis au devant de la Tranche-sur-mer, puis au devant du lieu-dit Les Rouillères
1999 : Tempête Klaus	Formation d'une brèche et nombreuses surverses en aval des épis des Rouillères.		Comblement de la brèche.
2010 : Tempête Xynthia	Formation 13 brèches. Inondation majeure à la Tranche-sur-mer et à la Faute-sur-mer.		Comblement en urgence des brèches formées. Mais développement d'une réflexion à plus long terme pour la future gestion du site.
2011		Classement du site en Réserve Naturelle Nationale	

Tableau 9 : Lagune de la Belle Henriette : synthèse des événements tempétueux, des enjeux en présence et des solutions techniques mises en œuvre.
Source : Vergier, 2005 ; Musereau, 2009 ; Garnier & de Surville, 2011 ; CETE Ouest, 20

Fiche 5 : la Belle Henriette, acte II une dynamique enfin reconnue et prise en compte



Carte 18 : faiblesses et enjeux de la lagune de la Belle Henriette.

Sources : d'après carte IGN, top 25, 2008 et entretiens. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013



Photo 17 : diversité des milieux écologiques de la lagune
S. Gueben-Venière, juillet, 2012.



Photo 18 : Haut de dune protégeant la lagune.
Vue vers le Sud-Est. S. Gueben-Venière, juillet, 2012.

Carte 19 : variété des zones humides de la lagune.

Sources : d'après carte IGN, top 25, 2008 et entretiens. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013.

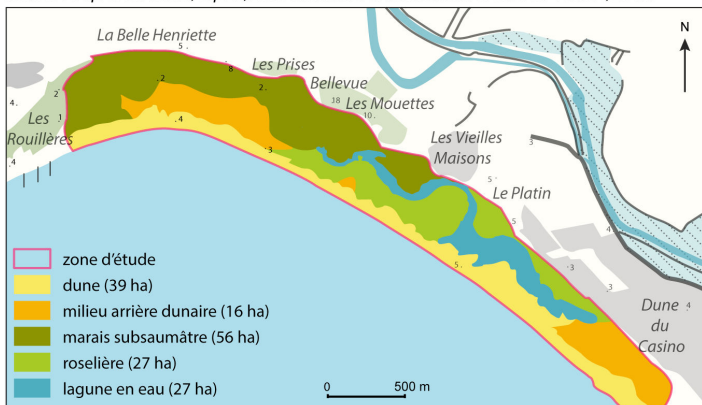


Photo 19 : camping de la Belle Henriette.
Vue nord-est. S. Gueben-Venière, juillet, 2012.



Le mode de gestion de la lagune pour faire face aux problèmes d'érosion et de submersions successives n'a été remis en cause qu'après l'abatement de la tempête Xynthia sur les côtes vendéennes. Deux facteurs principaux, d'ordre sécuritaire et environnemental, ont contribué à ce remaniement.

D'une part les dégâts provoqués par la tempête ont été particulièrement lourds. Dans la nuit du 28 février au 1^{er} mars 2010, la flèche sableuse de la Belle Henriette a été percée de 13 brèches (Carte 18), ce qui ne s'était encore jamais produit dans ces proportions jusqu'alors. Les 13 brèches ont submergé le camping des Rouillères, un lotissement et la route départementale 46 bordant le nord du site et reliant la Tranche-sur-Mer à la Faute-sur-Mer. Les sept premières brèches situées à l'est de la lagune ont provoqué la submersion du quartier des Rouillères à la Tranche-sur-Mer. Les brèches 9, 10, 11 et 13 se sont formées au niveau des quatre principaux chemins d'accès à la plage et la brèche 13, située dans le secteur du Platin, a créé une communication permanente entre la lagune et la mer. Les premiers travaux d'urgence se sont d'ailleurs concentrés sur cette partie de la flèche, de façon à interrompre cet effet de chasse. Au delà du site, la formation des brèches semble avoir contribué à l'inondation du nord de la Faute-sur-Mer et renforcé le gonflement du plan d'eau provoqué par le resserrement de l'estuaire du Lay. Toutefois, le lien entre les deux phénomènes n'a pas pu être clairement établi (Vanroye *et al.*, 2012).

D'autre part, le contexte environnemental avait notablement évolué depuis la tempête Klaus, et l'adoption du décret n°2011-1041 faisant de la Belle Henriette une Réserve Naturelle Nationale a définitivement affirmé la richesse écologique du milieu saumâtre à doux développé en arrière de la flèche sableuse par infiltration d'eau de mer sous la dune. Cette nouvelle donne environnementale a rendu plus complexe la gestion du site : l'ensemble des acteurs concernés ne pouvait plus se contenter d'une gestion au coup par coup relevant plus d'une politique de rustines que d'une réelle réflexion sur l'avenir du site et la protection à long terme des enjeux présents. Le premier projet de durcissement de la dune, proposé par les ingénieurs de la DDTM¹ en poste au lendemain de la tempête Xynthia, a ainsi été rejeté en bloc. Deux raisons majeures expliquent cette issue. La première est technique. En effet, la solution préconisée s'appuyait sur l'implantation de pieux de bois au cœur de la dune visant à la rigidifier et la répartition de ballots de paille sur le flanc nord de la flèche visant à l'élargir. Cette technique datée, remplacée depuis plusieurs années déjà par l'utilisation de géotextile placé au cœur de la dune, ne semblait pas suffisamment fiable pour protéger les populations et les biens dans un contexte aussi dynamique que celui de la Belle Henriette. La seconde raison relève de la préservation des enjeux environnementaux présents. La fermeture de la lagune en 1971 a certes contribué à adoucir le milieu autrefois marin. Cependant, l'étroitesse relative de la flèche sableuse (de 60 m à 90 m de large au maximum) a permis l'infiltration d'eau salée et par conséquent le développement d'un gradient de salinité au sein de la lagune. Des zones saumâtres coexistent ainsi avec divers milieux doux (Carte 19). Or l'élargissement de la flèche aurait contribué à banaliser la richesse de ce milieu en l'isolant totalement du milieu marin. C'est à l'initiative de la DREAL² - en charge de

¹ Direction Départementale des Territoires et de la Mer

² Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement, depuis 2007.

mettre en œuvre les politiques de développement durable, c'est-à-dire d'accorder les engagements du Grenelle de l'Environnement aux objectifs d'aménagement urbain – que le premier projet de confortement de la dune, imaginé au lendemain de Xynthia, a été soumis au CSRPN (Conseil Scientifique Régional pour la Protection de la Nature). Ce dernier a confirmé le caractère non intégré de la première solution proposée et en particulier l'incompatibilité de cette solution avec les enjeux environnementaux présents. Cette solution ne proposait pas non plus de vision à long terme, ni même à moyen terme de la gestion de l'érosion du site : elle reproduisait les solutions techniques jusque-là mises en œuvre et pourtant peu satisfaisantes au regard des submersions et multiples brèches formées malgré un équipement croissant de cette portion de littoral.

Pour répondre à l'ensemble des enjeux présents et non plus aux seuls enjeux sécuritaires, une autre approche du littoral a été envisagée. Les ingénieurs du CETE Ouest³ ont mis en parallèle deux scénarios de gestion décrits dans le tableau 10.

	Scénario 1	Scénario 2
Action à court terme	Ganivelles Végétalisation Rechargements ponctuels en sable	Laisser-faire
Hypothèse	Création de 2 brèches à court ou moyen terme (au Platin à l'Ouest, aux Rouillères à l'Est)	Disparition de la flèche sableuse à moyen terme
Protection concentrée sur	La flèche sableuse (ligne principale de défense)	Les digues de second rang (ligne principale de défense)
Risque de submersion avec vagues à 4,70 m	Risque faible à moyen	Risque moyen
Risque de submersion avec vagues à 5,30 m	Risque fort	Risque fort

Tableau 10 : comparaison des 2 scénarios envisagés pour la gestion de la Belle Henriette. *Source : CETE Ouest, 2012.*

Le scénario 1, classique, prend en compte ce que les ingénieurs ont nommé durant les entretiens « la première ligne de défense », c'est-à-dire la flèche sableuse de la Belle Henriette. L'hypothèse retenue pour ce scénario admet la création de deux brèches au cours d'une tempête (l'une dans le secteur du Platin à l'ouest, l'autre aux Rouillères, à

³ CETE Ouest, 2012, *Communes de la Faute-sur-Mer et de la Tranche-sur-Mer (Vendée). Définition d'un programme d'actions pour la prévention des submersions marines sur le secteur de la Belle Henriette*. Fascicule 2 : Stratégies d'intervention – Étude multicritères, p. 44.

l'est) malgré le maintien de la dune par des techniques douces (végétalisation, pose de ganivelles, rechargements en sable réguliers). Le scénario 2 est associé à la disparition à terme de la flèche sableuse et ne retient donc que la seconde ligne de défense correspondant aux digues construites le long de la rive nord de la lagune avant que la flèche sableuse ne s'étende suffisamment pour se substituer au rôle protecteur des digues.

Afin d'établir un choix entre les deux scénarios, une analyse multicritère simplifiée a été réalisée en prenant plusieurs indicateurs en compte pour caractériser quatre enjeux : un enjeu sécuritaire, un enjeu économique, un enjeu environnemental et enfin un enjeu sociétal, c'est-à-dire relatif aux usages permis par le site. La conclusion de l'étude indique que le scénario 2 est plus favorable aux enjeux sécuritaire et économique, tandis que le scénario 1 est plus favorable à l'enjeu sociétal. En revanche aucun des deux scénarios ne permet de préserver les enjeux environnementaux du site. En effet, le confortement et l'élargissement de la dune, envisagés dans le scénario 1 provoqueraient la perte du gradient de salinité actuellement présent et par conséquent un appauvrissement de la biodiversité de la lagune. Le scénario 2 préserverait à court terme les intrusions salines, mais la disparition de la dune à moyen terme ferait rapidement évoluer le site vers un milieu totalement halophile et donc moins remarquable. Or ce point a été précisément discuté lors de la réunion 17 juillet 2012 par les membres du comité de pilotage du projet, et à laquelle il a été possible d'assister en tant qu'observatrice.

Lors de cette réunion, un scénario 2 bis a été proposé par les ingénieurs de la DDTM. Ce dernier consiste à concentrer les efforts de prévention des risques érosion et submersion marine en améliorant la résistance de la seconde ligne de défense, tel que décrit dans le scénario 2. Mais pour permettre de répondre aux enjeux environnementaux, cette première stratégie a été complétée par la possibilité de recharger la flèche sableuse ponctuellement, c'est-à-dire de combler les brèches de façon à maintenir dans la limite du raisonnable la richesse écologique du site. Cette solution a été approuvée par l'ensemble des acteurs présents : élus, ingénieurs, environnementalistes. Voici quelques réactions d'ingénieurs, recueillies lors d'entretiens individuels menés après la réunion :

« Je pense que ce qui a été discuté va dans le bon sens : on essaie de tirer les leçons du passé pour ne pas reproduire les mêmes erreurs. Cette démarche va de pair avec la notion de développement durable. [...] On admet que finalement on n'a peut-être pas de réponse absolue à tout et que ce que l'on fait est valable pour un temps limité. [...] C'est une forme d'humilité qui me paraît plutôt positive. On commence à intégrer cette logique d'évolution et de développement durable, même si c'est encore subtil... »

« L'objectif de cette solution 2bis est d'arriver à faire un ouvrage qui protège ce secteur et qui soit compatible avec les enjeux de la réserve naturelle [...]. C'est nouveau. Il y a dix ans, on n'aurait pas réfléchi à une double ligne de protection. On n'aurait rien demandé à personne, on aurait prélevé 20 000 m³ de sable et on aurait comblé la brèche. Le réflexe technicien aurait été de dire : il y a une brèche, donc dans un premier temps on comble cette brèche et dans un deuxième

temps on élargit le cordon dunaire pour mettre les populations en sécurité. Aujourd'hui on doit non seulement envisager la protection des populations et des biens, mais aussi répondre aux enjeux environnementaux présents. Il y a donc une évolution, récente certes, mais bien réelle ».

L'intégration d'enjeux environnementaux dans les solutions de gestion du littoral offre non seulement la possibilité de « ménager le littoral » mais aussi de le rendre moins vulnérable face à l'aléa des tempêtes. On comprend donc que ces techniques innovantes de gestion puissent séduire les ingénieurs dans la mesure où elles répondent à la première préoccupation de ces derniers : assurer la sécurité des biens, des activités et des personnes. Ce constat a pu être vérifié dans les trois pays d'étude à l'échelle du site. Cependant, les Pays-Bas semblent avoir poussé la réflexion plus loin, à l'échelle de l'ouvrage même.

II. Évolution des techniques utilisées par les ingénieurs à l'échelle de l'ouvrage : l'exemple de la digue

L'étude de terrain a permis de voir que plusieurs acteurs néerlandais, dont des techniciens supérieurs et des ingénieurs, ont pour mission d'améliorer la qualité environnementale des digues de mer, avec le double objectif d'optimiser leur colonisation par de micro-organismes et ainsi d'augmenter la biodiversité locale, et de les rendre plus efficaces pour résister aux surverses.

La digue de mer, dont la résistance tient à son profil et aux matériaux utilisés pour la dresser, a en effet connu une évolution très importante au fil des décennies. Après la tempête de 1953, catastrophe nationale à l'origine de plus de 1800 décès, décision a été prise de rehausser et d'élargir l'ensemble du parc de digues afin d'harmoniser les dimensionnements d'ouvrage et d'établir des normes nationales de sécurité. Les pentes côté mer ont également été retravaillées pour mieux briser la force des vagues déferlantes et diminuer ainsi l'effet de run-up, c'est-à-dire la hauteur maximale atteinte par la projection de la vague sur la côte. Les années 1970 marquent une réelle modernisation des ouvrages de défense comme le montre le schéma suivant : les proportions ont été au minimum doublées, tant en hauteur qu'en largeur. Cependant, par souci d'économie, la terre et l'argile, matériau privilégié des premières digues, ont été remplacées par le sable pour agrandir les ouvrages, matériau moins coûteux, mais aussi moins stable.

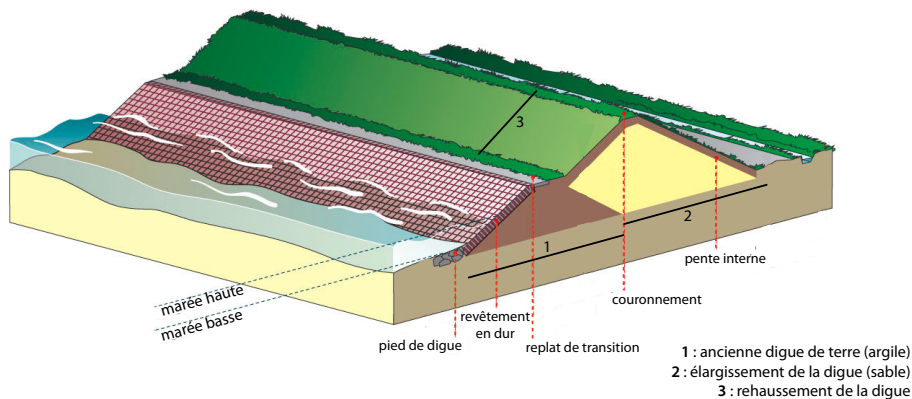


Figure 16 : schéma en coupe d'une digue de mer néerlandaise type.

Source : d'après Zeeweringen, 2010, modifié.

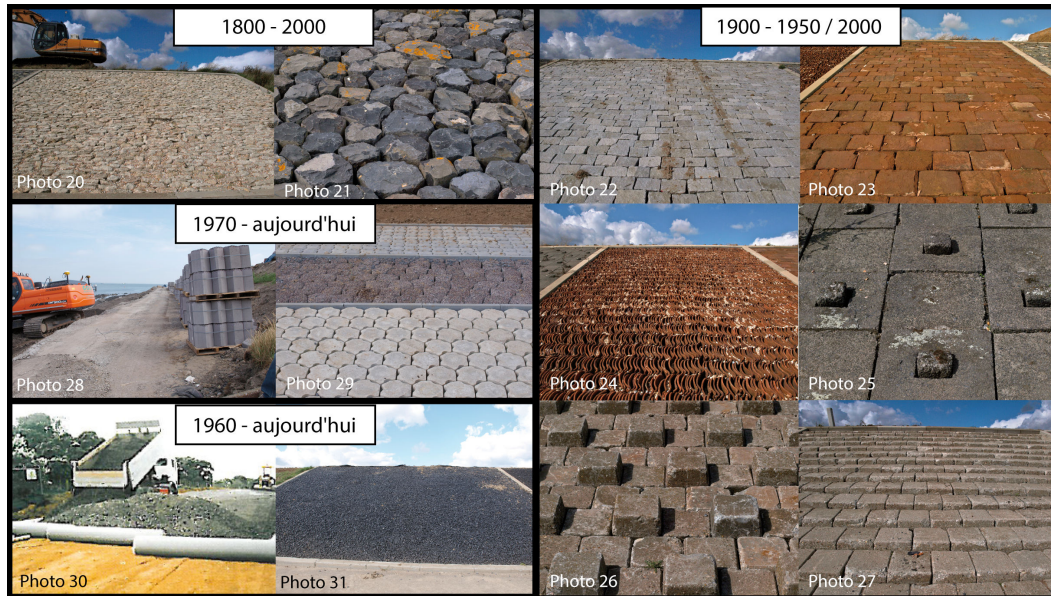
A. De l'amélioration de la résistance des matériaux de revêtement...

Outre l'élargissement et le rehaussement des digues, les matériaux de revêtement des ouvrages se sont également complexifiés, améliorant la résistance générale des ouvrages. En Zélande, non loin du Watersnoodmuseum, musée de commémoration de la tempête de 1953, ont été exposés en plein air les différents revêtements de digue utilisés au fil des décennies. L'évolution constatée peut se résumer en trois périodes distinctes : le XIX^e siècle et le travail de la pierre, le travail du béton durant la première moitié du XX^e siècle et, à partir de la seconde moitié du XX^e siècle l'apparition de matériaux de plus en plus techniques.

Début d'utilisation	Matériau	Travail du matériau de revêtement	Photo correspondante	Fin d'utilisation
1800	- pierre de Vilvoorde - basalte	Travail principal de taille	photo 20 photo 21	2000 réparation uniquement
1900	- granite - terre cuite / brique - terre cuite / tuile - béton cloué - béton bloc relief - béton blocs chevauchés	Travail principal de disposition des éléments Travail sur la forme et la disposition des blocs	photo 22 photo 23 photo 24 photo 25 photo 26 photo 27	réparation uniquement 1950 1970 1950 1980 2000
1960	- géotextile	Travail sur le comportement mécanique et le comportement hydraulique de la digue	photo 30	encore aujourd'hui
1970	- colonne de béton	Travail sur la forme des blocs, l'amélioration de la résistance du béton, la combinaison de matériaux	photos 28 et 29	encore aujourd'hui
2007	- Elastocoast	Travail sur la résistance du matériau et l'amélioration de ses fonctions écologiques	photo 31	encore aujourd'hui

Tableau 11 : Évolution des revêtements de digues utilisés depuis 1800.

Sources : Watersnoodmuseum et entretiens



Photos 20 à 31 : évolution des revêtements de digue depuis 1800 aux Pays-Bas.

Source : photos 21 à 32 : S. Gueben-Venière, août 2010, sauf photo 29 : Rijkswaterstaat, 2001.

L'apparition du géotextile à partir des années 1960 marque une transition entre les deuxième et troisième périodes. Ce revêtement, fabriqué à base de polymère et présenté sous la forme d'une toile déroulée, particulièrement facile d'utilisation, avait un double objectif :

- améliorer le comportement mécanique de l'ouvrage en servant de séparation aux différents matériaux utilisés et de renforcement général de la digue
- améliorer le comportement hydraulique de la digue en jouant le rôle de filtre, de drainage ou au contraire de couche étanche.

La présence de géotextile dans les digues de mer rend ainsi compte de la complexification de la structure en couches des ouvrages de défense côtière à partir des années 1960. Par ailleurs, l'utilisation de géotubes sous-marins, c'est-à-dire d'un tube de géotextile rempli de sable, pour freiner la force de la houle à l'approche des côtes, montre un intérêt porté à la recherche de solutions réversibles, moins perturbatrices du milieu que les ouvrages de défense lourde.

B. ... à l'amélioration de leur qualité environnementale

Au cours des années 1970, parallèlement à une amélioration de la résistance des blocs de béton (modelage des blocs en véritables colonnes de façon à optimiser leur ancrage dans la paroi externe de la digue – photo 28), une attention grandissante a été portée aux qualités environnementales des revêtements de digue. Le deuxième plan de la photo 29 montre ainsi des colonnes de béton surmontées d'une couche de graviers agglomérés. Le but ici est à la fois paysager et écologique. Le résultat est en effet plus discret et s'intègre mieux au paysage que les revêtements des premier et troisième plans de la photo. De plus, la surface irrégulière créée par les graviers agglomérés permet en

théorie une meilleure accroche puis la colonisation des algues benthiques, et ainsi le développement d'une faune et d'une flore de rivage. Néanmoins, cet objectif paysager et environnemental ne prendra réellement d'essor qu'au début du XXI^e siècle avec l'utilisation grandissante de l'élastomère à partir de 2007. L'objectif écologique est alors clairement recherché, sans mettre de côté l'aspect sécuritaire des digues. Yvo Provoost, ingénieur au *Zeeweringen*, institut régional zélandais rattaché au ministère des travaux publics néerlandais, le *Rijkswaterstaat*, m'expliquait ainsi le processus d'entretien des revêtements de digues :

« Dans le cadre des compétences du Zeeweringen, nous vérifions l'état du revêtement de toutes les digues de Zélande, aidés par les waterboards, et le restaurons ou le remplaçons éventuellement. En tant qu'ingénieur, je suis chargé de trouver des solutions pour améliorer la résistance des revêtements défaillants. Il y a donc toute une partie de mon travail qui concerne la recherche, et l'utilisation d'élastomère en est un exemple ».

Commercialisé sous le nom d'Elastocoast par la société Elastogran⁴, ce nouveau revêtement est constitué de polyuréthane permettant de lier pierres ou petits cailloux entre eux afin de créer un ouvrage poreux, monolithique et stable. L'aspect irrégulier de la surface de revêtement permet d'absorber et de dissiper l'énergie des vagues, avec pour conséquence une diminution du run-up associé, et donc de leur potentiel de détérioration de la digue, tel que l'indique la figure 17 (De Garder, 2010).

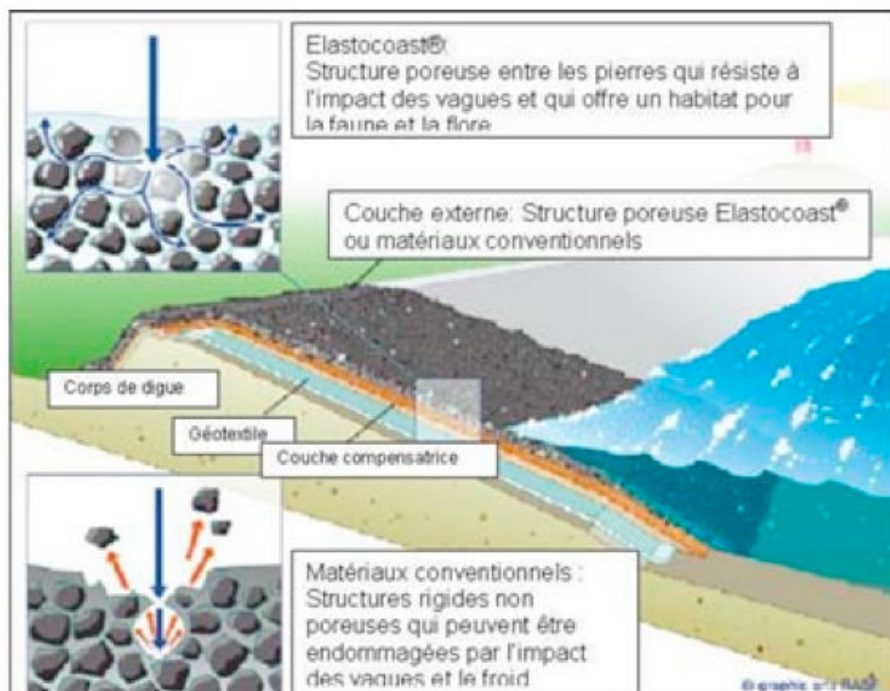


Figure 17 : Structure de l'Elastocoast. Source : Elastocoast® video illustration, mars 2012.

⁴ filiale de BASF

Mais les avantages techniques de l'Elastocoast n'ont pas été les seuls pris en compte par les ingénieurs du Zeeweringen :

« Pour nous, ingénieurs en charge du revêtement des digues, ce n'est pas seulement la résistance de l'Elastocoast qui compte, mais aussi tous les critères écologiques qu'il remplit. C'est pourquoi, le Zeeweringen a travaillé en commun avec le bureau d'ingénierie ARCADIS et l'université d'Amsterdam. Les ingénieurs d'ARCADIS ont travaillé sur les caractéristiques techniques de ce produit, pendant que Marcella Locks, écologiste, a fait une thèse au sein de l'Université d'Amsterdam, financée par ARCADIS pour mesurer les qualités écologiques de ce nouveau matériau ».

Les résultats de cette thèse ont été publiés en 2009. Ainsi, les principaux tests ont été effectués sur une digue de mer appelée « Zuitbout », située dans l'estuaire de l'Escaut oriental (carte 20). Quatre sortes de petits cailloux ont été pris dans le polyuréthane : de la pierre blanche calcaire de Vilvoorde, du basalte, du béton, de la pierre de Tournai encore appelé Noir de Tournai et composé jusqu'à 80% de calcite et 20% de silice (Lock *et al.*, 2009). La figure 18 montre les résultats observés après 25 semaines de test. D'une façon générale la présence d'Elastocoast augmente la capacité de colonisation et de croissance des algues benthiques sauf dans le cas d'un Elastocoast enrobant du basalte, où le résultat est légèrement inférieur à un simple revêtement de basalte. Le taux de croissance des algues est multiplié par 1,5 pour les cas du béton et de la pierre de Vilvoorde, et par 4 pour le Noir de Tournai. Les résultats sont quasiment maintenus pour le basalte et le Noir de Tournai lorsque du sable est également utilisé. En revanche, les résultats sont médiocres pour la combinaison pierre de Vilvoorde, Elastocoast et sable, et nuls pour la combinaison béton, Elastocoast et sable.

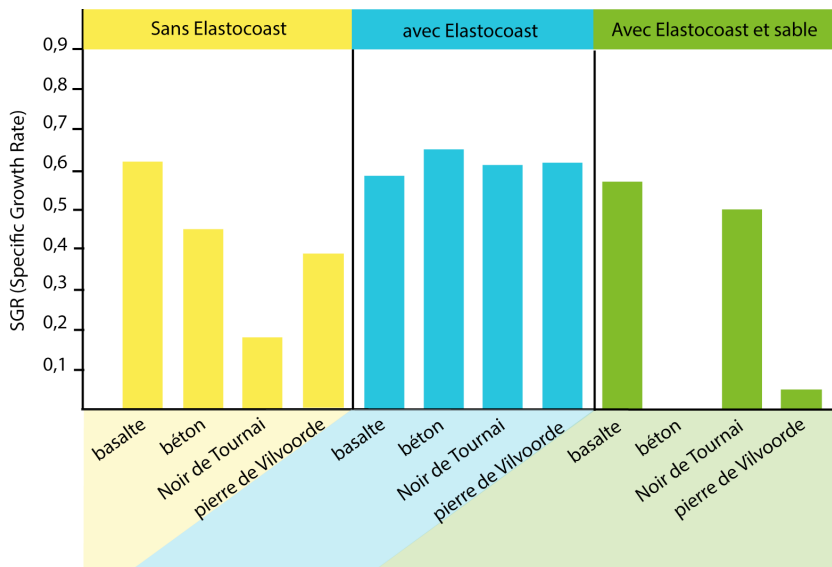


Figure 18 : Tests d'utilisation de l'Elastocoast. Source : Lock *et al.*, 2009, modifié.

Ces premiers résultats plutôt satisfaisants ont permis aux ingénieurs du *Zeeweringen* d'effectuer eux-mêmes cette fois une seconde série de tests grandeur nature à Bathpolder en 2009. Situé sur la rive nord de la partie amont de l'estuaire de l'Escaut occidental, le site présente une surface de 12 000 m² de revêtement de digue (carte 20). La conquête de la végétation sur les surfaces recouvertes d'Elastocoast est très variable. La photo 32 montre au deuxième plan un buisson fourni alors que quelques mètres en amont (photo 34), la végétation halophile peine à coloniser la pente et reste très clairsemée. Sur la photo 33, aucune colonisation d'algues ou de végétation halophile quelconque n'est observée. Ainsi, outre le choix du matériau utilisé pour fabriquer l'Elastocoast, un certain nombre de critères physiques doit être pris en compte : l'exposition de la digue, la pente, la force de la houle, la hauteur d'eau etc. L'Elastocoast ne peut pas être appliqué partout et le temps de colonisation estimé, dans les endroits soumis à des conditions physiques rudes, peut être de dix ans (Lock *et al.*, 2009).



Photos 32 à 34 : revêtement des pentes externes de digues avec Elastocoast à Bathpolder.

Source : S. Gueben-Venière, juillet 2010.

Carte 20 : Localisation des sites de Zuidbout et Bathpolder. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2011.

Ces seconds résultats mitigés n'ont pas pour autant fait renoncer les ingénieurs à ce nouveau revêtement. Si l'Elastocoast n'a pas montré entière satisfaction côté mer, il se pourrait que ce revêtement résolve un certain nombre de problèmes côté terre. En effet, selon l'ingénieur Yvo Provoost rencontré au *Zeeweringen*, le gouvernement néerlandais étudie la possibilité de passer du standard de submersion actuel de 0,1 à 1L/s par mètre linéaire de digue à 5L/s d'ici 2018. Cette évolution des standards se justifie par l'élévation du niveau marin, l'augmentation potentielle de l'intensité et de la fréquence

des tempêtes, et par conséquent par le coût de rehaussement des digues. Par ailleurs, accepter une submersion plus grande des digues permettrait de ne pas empiéter sur les polders protégés pour les élargir. Or les tests du run-up, ou tests de surverse, correspondant à un volume d'eau de 5L/s/m, déversé pendant six heures consécutives⁵, ont révélé plusieurs failles et des trous plus ou moins profonds sont apparus très rapidement dans la pente interne de la digue, ainsi que l'explique Yvo Provoost :

« Nous avons observé deux sortes de trous. Les premiers se sont formés autour des escaliers de béton desservant le haut de la digue. En effet, pour entretenir les escaliers des digues, des pesticides sont régulièrement pulvérisés de part et d'autre, ce qui empêche l'herbe de repousser à cet endroit. Donc la terre nue, qui est beaucoup moins résistante à l'assaut des vagues que la pelouse, a offert un terrain très vulnérable à l'érosion provoquée par un run-up d'à peine 2h consécutives. Or, pour être valable, le revêtement de la pente externe de la digue doit résister 6h. Nous sommes donc loin du compte ! Par ailleurs, nous avons découvert la formation de pipping⁶. Nous connaissions l'existence du phénomène de pipping sous la digue, de la pente externe vers la pente interne, mais nous n'avions jamais vu un pipping se creuser sur un même côté, de haut en bas ».

Les photos 37 et 38 montrent les deux faiblesses constatées.



Photos 35 à 38 : série de tests de surverse effectués sur la pente interne enherbée de la digue de mer. Photo 37 : lourds dégâts aux marges des escaliers d'accès au haut de la digue. Photo 38 : formation d'une galerie souterraine horizontale dans la pente interne de la digue. Source : Y. Provoost, été 2012.

⁵ Les 6h de tests correspondent à la durée du run-up pendant une tempête de 35h, normes en vigueur aux Pays-Bas.

⁶ Formation d'une galerie souterraine

Ainsi, l'Elastocoast pourrait se révéler être une bonne solution technique et écologique. Technique d'une part, car des tests de surverse ont montré que la résistance de l'Elastocoast est supérieure à celle des surfaces enherbées. Sur une pente interne de digue recouverte cette fois d'une couche d'Elastocoast, les résultats sont indiscutables : ce revêtement résiste à un débit de 100L/s/m pendant 6h consécutives, ce qui correspond à une norme cent fois plus stricte que la norme actuellement en vigueur. Écologique d'autre part, car le nouveau revêtement, sensible aux conditions physiques difficiles imposées par l'exposition de la pente externe des digues, le serait moins sur la pente interne et donc plus propice à se laisser coloniser par une végétation et une faune halophiles. Si une pelouse et une argile de meilleure qualité ne parvenaient pas à remédier au problème d'érosion de la pente interne des digues, l'Elastocoast pourrait à terme remplacer les surfaces enherbées des digues néerlandaises.

Enfin, parallèlement à la recherche de nouveaux matériaux, le *Rijkswaterstaat* a lancé en 2007 le projet *Diverse Dike*, conjointement avec l'institut de recherche *Deltares*. Les ingénieurs civils hydrauliciens néerlandais ont travaillé de concert avec des écologues afin d'optimiser les possibilités d'accroche et de développement de la faune et flore de rivage (moules, huîtres, bernacles, algues, anémones etc.) et d'améliorer ainsi les fonctions écologiques des structures de défense traditionnelle. Ces travaux ont permis de mieux comprendre les modalités d'accroche de la faune et flore de rivage qui dépendent à la fois des caractéristiques du matériau (rugosité, capacité de rétention d'eau, composition chimique, taille des blocs etc.) et d'un gradient de submersion. L'ouvrage de défense peut ainsi être subdivisé en trois zones : une partie immergée uniquement à marée haute, une partie constamment submergée et une zone de transition. Voici les solutions retenues, après tests, pour chacune des trois zones : des blocs d'éco-béton, à la surface ponctuée de rainures ou de trous, ont été fixées sur les parois submergées des digues (photo 39). Après quelques semaines passées sous l'eau, différents petits animaux et algues ont colonisé le bloc d'éco-béton (photo 40). Dans la zone de transition, correspondant à l'enrochement du pied de digue, le choix a été fait de disposer des pierres de taille variable de façon à créer une retenue d'eau à marée basse (photo 41). Enfin, dans la partie supérieure du revêtement de la digue, une adaptation de la forme des blocs ou colonnes de béton a également facilité leur colonisation par les algues et petits coquillages ou anémones de mer (photos 42 à 44).



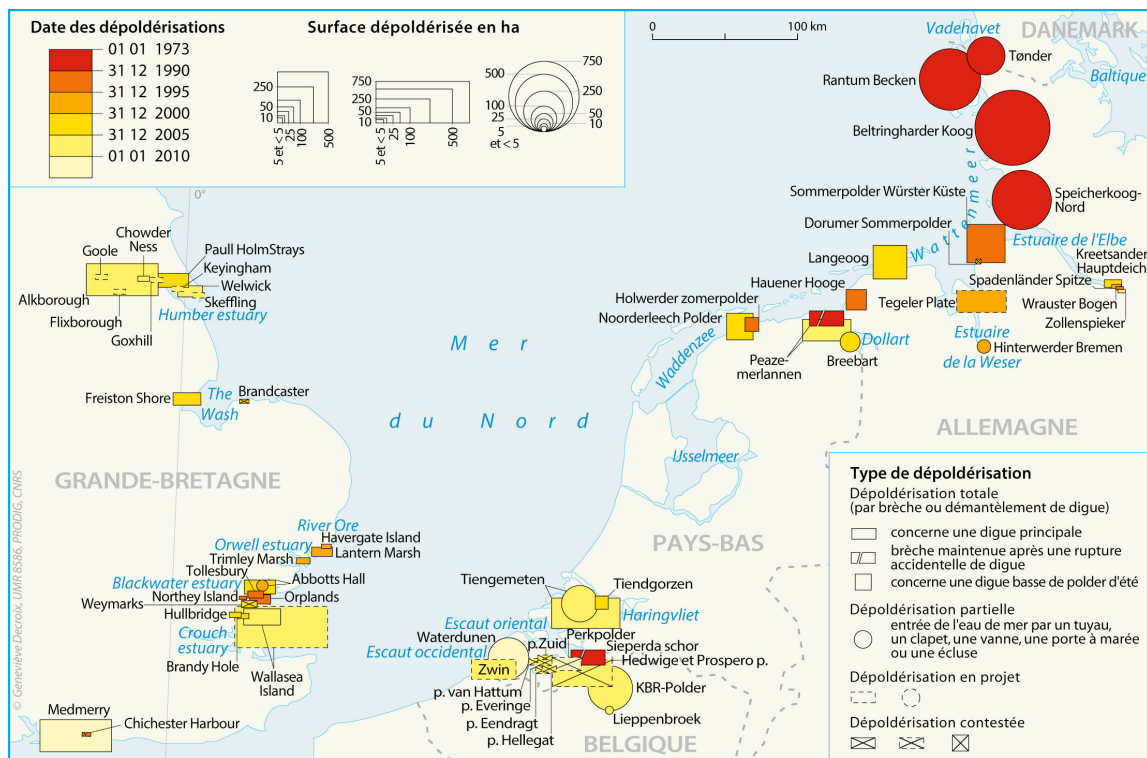
Photos 39 à 44 : éléments contribuant à la diversité des revêtements de digues. De gauche à droite et de haut en bas : (39) bloc d'éco-béton avant immersion, (40) bloc d'éco-béton après immersion, (41) retenue d'eau, (42) formes servant à modeler les colonnes de béton, (43) colonnes de béton prêtes à être utilisées, (44) colonisation par de micro-algues des petites cavités des colonnes de béton gardant une petite quantité d'eau de mer lorsque celle-ci se retire à marée basse. *Source : Photos 39 à 41 : Deltares, 2010 ; Photos 42 à 44 : Y. Provoost, 2012.*

Conclusion du chapitre 4

Les cinq cas d'étude présentés ont permis une analyse en détail de modes innovants de gestion du littoral nord-ouest européen. Or ces cas ne sont pas isolés mais illustrent au contraire une nouvelle tendance, entamée il y a plus ou moins longtemps selon les pays. Les cartes 21 et 22 indiquent le degré de généralisation de ces pratiques pour les dépoldérisations (Goeldner-Gianella, 2013).



Carte 21 : Ensemble des dépoldérisations réalisées ou en projet en France. Source : d'après Goeldner-Gianella, 2013. Réalisation : G. Decroix, 2014.



Carte 22 : Ensemble des dépodérisations réalisées ou en projet autour de la mer du Nord. *Source* : d'après Goeldner-Gianella, 2013. *Réalisation* : G. Decroix, 2014.

Les côtes est et sud de l'Angleterre regroupent non seulement le plus grand nombre de dépodérisations totales (25), les plus larges superficies dépodérisées volontairement et totalement (par brèches ou arasement de la digue), mais aussi le plus faible nombre de contestations (2 contre 6 aux Pays-Bas par exemple). L'avancée anglaise s'observe donc doublement : techniquement d'une part et socialement d'autre part puisque la presque totalité des dépodérisations projetées ont été menées à bien. Le cas français montre une majorité de dépodérisations partielles ou accidentelles. Enfin, de façon générale, les dépodérisations par brèches ou par démantèlement de la digue, se sont progressivement opérées à partir des années 1990. Auparavant, les dépodérisations partielles étaient majoritaires, notamment en France et au Danemark.

Une synthèse cartographique sur les rechargements en sable, et notamment les volumes rechargés et les années de rechargement, reste à faire à la même échelle. Si les Néerlandais ont systématiquement répertorié les opérations de rechargement en sable (au moins depuis 1990, Cf carte 10), ce travail de collecte de l'information doit encore être réalisé par les Anglais et les Français. Yvonne Battiau-Queney appuyait ce constat le 9 février dernier dans une communication publiée sur le site d'EUCC-France :

« Recharger les plages est moins coûteux, plus écologique, plus efficace dans la durée et beaucoup plus esthétique que tous ces ouvrages en dur (enrochements,

épis, digues, brise-lames...) qui ont détérioré nos plages depuis tant d'années avec le résultat que l'on connaît aujourd'hui. [...] Il faut inventorier les ressources en sable disponibles et compatibles, travailler sur les techniques de rechargement et les mesures d'accompagnement qui assureront sa durabilité [...]»

Toutefois, plusieurs ingénieurs européens ont proposé un résumé des rechargements effectués en Europe jusqu'au tournant du XX^e siècle⁸. Il se dégage de ces analyses des tendances nationales, selon la date du premier rechargement effectué et les volumes rechargés (Tabl. 12).

Pays	Date du 1 ^{er} rechargement	Volume total de sable (en millions de m ³)	Stratégie de long terme
Royaume-Uni	1950	12	Non
Allemagne	1951	50	Oui
France	1962	12	Non
Italy	1969	15	Non
Pays-Bas	1970	110	Oui
Denmark	1974	31	Oui
Espagne	1985	110	Non

Tableau 12 : comparaison des rechargements en sable effectués dans la seconde moitié du XX^e siècle. *Source : Hamm et al., 2002.*

Le Royaume-Uni a été parmi les premiers pays européens avec l'Allemagne à mettre cette technique en œuvre. La France a suivi à partir de 1962 et les Pays-Bas n'ont commencé à utiliser le rechargement qu'à partir de 1970. Le cumul des volumes rechargés montre bien l'intérêt croissant des Néerlandais pour cette technique : 110 millions de m³ de sable, soit près de dix fois plus que la France pour un linéaire côtier plus de dix fois inférieur à celui de la France. De même les Pays-Bas, contrairement à la France et au Royaume-Uni, envisagent le rechargement en sable comme un mode de gestion répondant à une stratégie à long terme d'aménagement du littoral.

Ce chapitre met donc en évidence l'existence de spécialités nationales en matière de pratiques de gestion côtière. L'Angleterre est aujourd'hui largement reconnue pour son expertise en matière de dépoldérisation totale (*managed realignment*) tandis que les

⁷ Communication d'Y. Battiau-Queney, 9 février 2014, « Comment sauver nos plages de l'érosion marine ? », site de l'EUCC- France : www.euccfrance.fr.

⁸ Hamm, L., Capobianco M., Dette H. H., Lechuga A., Spanhoff R., Stive M. J. F., 2002, « A summary of European expérience with shore nourishment », *Coastal Engineering*, n° 47, pp. 237-264 ; Hanson H., Brampton A., Capobianco M., Dette H.H., Hamm L., Laustrup C., Lechuga A., Spanhoff R., 2002, « Beach nourishment projects, practices, and objectives—a European overview », *Coastal Engineering*, n° 47, pp. 81-111.

Pays-Bas cultivent leur savoir-faire pour le rechargement en sable en l'exportant notamment au-delà des frontières européennes (Gueben-Venière *et al.*, 2011).

Enfin, de façon générale, ces études de cas montrent une implication des ingénieurs, toutes nationalités confondues, dans la recherche d'un littoral à la fois plus « vert » et moins vulnérable. Ces derniers se sont montrés tantôt moteur de la mise en œuvre de ces nouveaux modes de gestion, tantôt convaincus ou consentant à reconnaître les avantages d'une gestion dite « intégrée » du littoral. Partant de ce constat, le chapitre suivant examine plus en détail l'implication de cette catégorie d'acteurs dans ces nouveaux modes de gestion en analysant comparativement la façon dont ingénieurs et non ingénieurs se représentent le littoral dont ils ont la charge.

De plus en plus d'environnement dans les discours des ingénieurs

Les « nouvelles » pratiques de gestion du littoral, observées dans les trois pays et précédemment décrites, n'auraient pu être développées sans que les acteurs de la gestion de ce territoire ne soient eux-mêmes convaincus de l'importance d'associer une dimension environnementale à tout projet de gestion. Pour mieux saisir cette conviction et la confirmer, deux grandes questions ont été développées en entretien :

1. *Qu'est-ce que le littoral selon vous ? Comment décririez-vous le littoral (néerlandais, français ou anglais selon le cas) aujourd'hui ?*
2. *Selon vous, à quoi correspondrait une gestion idéale du littoral ? En somme, comment envisagez-vous le littoral de demain ?*

Ces questions ouvertes ont pour objectif de comprendre la façon dont les ingénieurs et les non ingénieurs se représentent le littoral qu'ils aménagent afin de mieux expliquer la façon dont ils envisagent la gestion de ce territoire entre terre et mer. Par ailleurs l'effort de projection requis par la seconde question a permis de répondre à l'évolution potentielle de la vision des ingénieurs : leur discours sur le littoral intègre-t-il effectivement de plus en plus d'enjeux environnementaux ? Si oui de quelle façon et dans quel but ?

Par dimension environnementale, doit être comprise une acception géographique du terme environnement, c'est-à-dire un construit social relevant d'interactions complexes entre le milieu littoral et les usages qui en sont faits, ce que Y. Veyret nomme le « géoenvironnement, [...] [qui] se caractérise par des emboîtements d'échelle [...] et s'analyse aussi en terme de temporalités » (Veyret, 2007, p. 134). Pour ce faire, différents éléments ont été recherchés dans l'analyse des discours : des éléments ayant trait à la description du milieu et du paysage littoral, des éléments relevant de l'aspect dynamique du littoral et de sa complexité, mais aussi des actions visant à protéger, préserver ou encore « travailler avec la nature » comme cela a été mentionné à plusieurs reprises.

Les deux grandes questions précitées ont été principalement développées en entretien, mais aussi soutenues par deux techniques complémentaires d'enquête (cf. chapitre 3) : le dessin - par le biais des cartes mentales - et les graphes associatifs, permettant de faire ressortir les nœuds de réflexion et les principaux cheminements de pensée. Il est important de mettre l'accent sur la complémentarité de ces techniques et en particulier celle des graphes associatifs avec les entretiens. En effet, leur exploitation n'est pertinente qu'en complément des entretiens menés car l'interprétation des graphes seuls peut conduire à des contresens. Par exemple le mot *coordination*, qui est ressorti dans plusieurs graphes, n'a pas le même sens selon qu'il a été mentionné par un ingénieur néerlandais ou un ingénieur français. Dans le premier cas, l'analyse parallèle du discours de l'ingénieur néerlandais révèle que cette *coordination*, si elle peut être améliorée, existe déjà, selon lui, aux Pays-Bas. Dans le cas

français, ce mot prend un tout autre sens lorsqu'il est mis en parallèle de l'entretien réalisé : la *coordination* est alors exprimée comme un besoin et peut être associée à un manque dans la gestion du littoral.

L'analyse des discours consacrés au littoral et à l'optimisation de sa gestion révèle, dans son ensemble, un consensus : la notion d'environnement est largement présente dans les descriptions faites du littoral, et l'intégration d'enjeux environnementaux apparaît comme nécessaire, parfois même comme un moteur à l'élaboration de solutions de gestion innovantes. La seconde partie de ce chapitre détaille les nuances qui ont été apportées. Les convictions exprimées ne sont en effet pas monochromes mais montrent au contraire des différences liées par exemple à l'échelon d'intervention des acteurs dans le processus de gestion du littoral, à un effet générationnel ou encore au poids des représentations culturelles.

I. Une forte homogénéité des discours consacrés au littoral...

A. Un territoire complexe

Le premier point qui ressort de l'analyse transversale des discours et des graphes associatifs, quelle que soit la formation ou le pays des acteurs rencontrés, est la complexité qui caractérise le territoire littoral. Une complexité révélée dans un premier temps par la difficulté à le définir :

« *Le littoral, on peut lui donner beaucoup de sens : c'est comme on veut.* »¹

« *Le littoral ? L'interface. Un grand flou quoi !* »²

« *Le littoral n'a pas de ligne bien définie, c'est une chose floue.* »³

« *Le littoral, c'est une image et une histoire.* »⁴

« *Le littoral, c'est le sentiment d'être proche de la mer.* »⁵

« *Le littoral correspond au paysage de dunes.* »⁶

« *Le littoral est une large transition entre la terre et la mer, qui comprendrait l'influence de la marée.* »⁷

Ces quelques extraits mettent en exergue l'importance des facteurs subjectifs pour définir le littoral. Selon le type de côtes et leur découpage, le sentiment d'appartenance au littoral peut se développer jusque très loin dans les terres ou au contraire disparaître assez rapidement. Un géographe expliquait ainsi que sa perception du littoral était très forte dans l'ensemble de la presqu'île du Cotentin, alors que celle-ci s'estompait beaucoup plus rapidement en quittant les falaises de craie abruptes de Seine-Maritime. De même, selon cet environnementaliste anglais, le sentiment de proximité avec le littoral peut être perturbé par la présence de digues établissant une véritable frontière entre terre et mer :

¹ Extrait d'entretien d'un ingénieur français

² Extrait d'entretien d'un géographe français

³ « *The coast is not a define line. It's a fuzzy thing* » : extrait d'entretien d'un ingénieur anglais (Chartered engineer)

⁴ « *The coast is a picture and a story* » : extrait d'entretien d'un ingénieur anglais (Chartered engineer)

⁵ « *The coast is the feeling of being near to the sea* » : extrait d'entretien d'un environnementaliste anglais

⁶ « *The coast corresponds to the landscape of the dunes* » : extrait d'entretien d'un technicien supérieur néerlandais.

⁷ « *The coast is a large transition between the see and the land, so it takes into account tidal influences* » : extrait d'entretien d'un ingénieur néerlandais

« Je ne considère pas que là où nous discutons actuellement, nous soyons sur le littoral et pourtant la digue de mer n'est qu'à un mile d'ici. (...) La digue de mer a un impact tel qu'elle stoppe tout, la mer, les espèces, les habitats, toute vie sauvage. C'est une réelle barrière, qu'elle fasse cinq mètres de haut ou seulement un, parce que la plupart des espèces que l'on peut associer à la mer ne peut pas passer de l'autre côté de la digue »⁸.

Un ingénieur anglais quant à lui, déterminait l'appartenance au littoral selon des facteurs socio-économiques en considérant Norwich, Peterborough ou encore Londres, comme appartenant au littoral : *« ces villes, par l'économie qu'elles génèrent sur la côte – flux touristiques, parc immobilier de résidences secondaires etc. – font, selon moi, partie du littoral »⁹*. De même, lorsqu'un autre ingénieur anglais a évoqué le littoral sous la forme d'une image et d'une histoire, celui-ci apparaît de façon évidente comme la résultante d'une longue évolution physique et sociale. Ces facteurs subjectifs, très présents en entretien, témoignent du caractère complexe du littoral.

Dans un deuxième temps, plusieurs acteurs, ingénieurs ou non, ont abordé spontanément la notion de système complexe pour définir le littoral. Un ingénieur français expliquait

« le littoral est un système complexe par excellence. (...) Complexe, ça ne veut pas dire qu'il y a une réponse clé en main qu'il n'y aurait qu'à décalquer sur le territoire concerné. Non. Ça veut dire qu'il faut prendre en compte de multiples interactions qui relèvent aussi bien du domaine juridique, économique, technique, sociologique qu'écologique. Ça veut dire aussi qu'il y a des interactions et des rétroactions à prendre en compte. La gestion du trait de côte est l'emblème par excellence des effets de rétroaction qui n'ont généralement pas assez été pris en compte ».

Aux Pays-Bas, par exemple, un schéma largement diffusé par les stratégies néerlandaises de gestion du territoire¹⁰, a été montré à plusieurs reprises en entretien, par des ingénieurs comme des non ingénieurs, pour illustrer les facteurs de complexité du territoire littoral. L'objectif de ce schéma en strates est triple : donner un aperçu de l'ensemble des interactions généralement présentes sur un territoire, leur attribuer des pas de temps propres et enfin permettre aux acteurs de la gestion d'un territoire d'intégrer plus facilement sa complexité dans les futurs plans d'aménagement. La figure suivante détaille ainsi les trois « niveaux » à envisager.

⁸ « *I don't consider that we are now on the coast, and the seabank is a mile from here. (...) Because the seabank is so effective that stopping anything, any sea, any species, any wild life, it's like a real barrier. It might be five metres high, but it might as well be just a meter high, because most of species that you would associate with the sea aren't on the other side of that bank* ».

⁹ « *Through the economy they generate on the South-East coast, particularly in terms of tourism and ownership of second homes, I can come to no other conclusion than the fact that these cities belong to the coast.* »

¹⁰ Ruimte voor ontwikkeling (Space for development), 2005

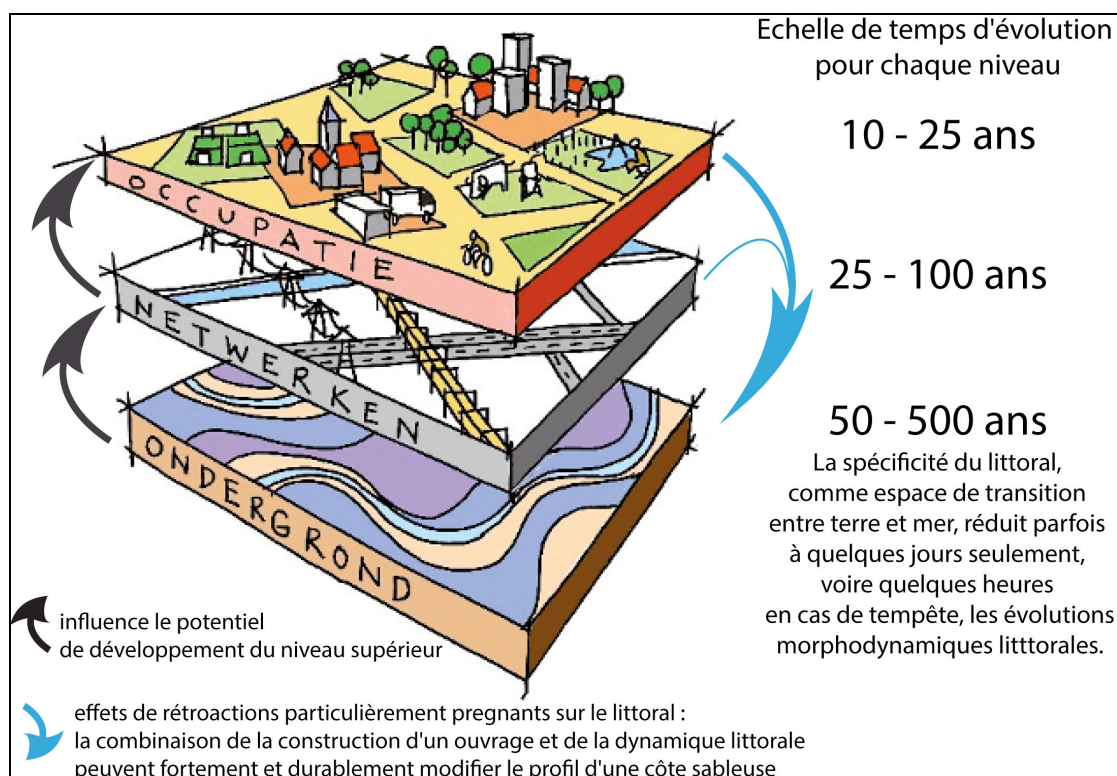


Figure 19 : le modèle des strates du territoire.

Source : www.ruimtexmilieu.nl, 2005, modifié.

Le premier niveau concerne le sous-sol, le sol, les surfaces d'eau ou les fleuves, autant que la faune et la flore spécifiques au milieu du territoire considéré. Bien que ce niveau admette en théorie les évolutions les plus lentes allant de 50 à 500 ans, ce pas de temps doit être élargi en ce qui concerne le littoral. Les évolutions morphodynamiques littorales peuvent en effet être très rapides en cas de tempête par exemple, et se réaliser en quelques heures seulement. Le second niveau concerne les réseaux de communication, d'énergie etc. Enfin le dernier niveau correspond à l'occupation du sol (espaces d'habitation, de travail, de loisir). Les interactions sont nombreuses entre les niveaux, et le territoire littoral y ajoute de nombreuses rétroactions. Enfin, ainsi que l'ont mentionné les personnes ayant montré ce schéma, celui-ci ne fait pas apparaître la dimension socio-économique et culturelle, incontournable à prendre en compte et qui complexifie davantage l'organisation du système littoral.

Cette notion de complexité est également apparue dans les graphes associatifs relatifs au littoral. Le tableau 13 présente la répartition par profession et par pays des graphes recueillis. Au total 38 personnes ont répondu, soit 17 ingénieurs pour 21 autres personnes. Les Pays-Bas sont surreprésentés puisque 21 personnes, toutes professions confondues, ont répondu contre 8 en France et 9 en Angleterre. De même, les réponses des ingénieurs néerlandais sont plus nombreuses (8) que celles de leurs homologues français (4) ou anglais (5).

Littoral			
Tous	38		
Par métier	Ingénieurs	Non ingénieurs	
	17	21	
Par pays	France	Pays-Bas	UK
	8	21	9
Ingénieurs par pays	France	Pays-Bas	UK
	4	8	5

Tableau 13 : Répartition par pays et par profession des graphes associatifs recueillis sur le littoral.

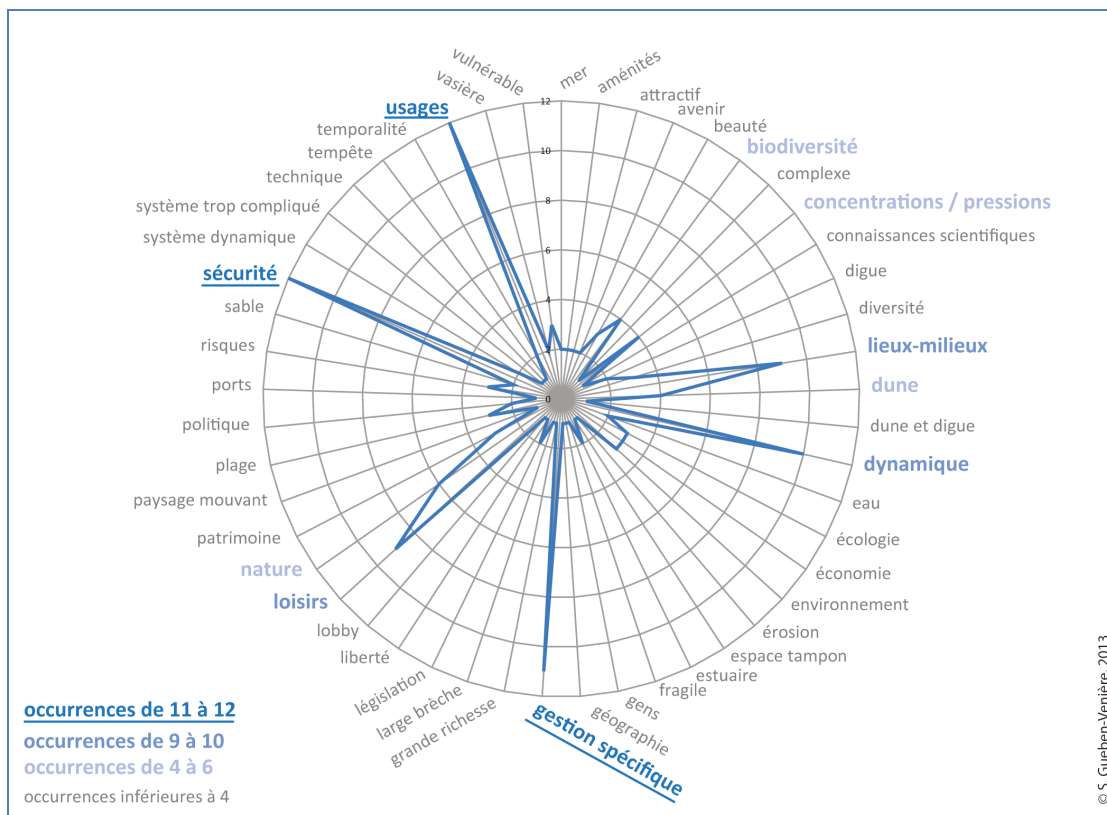


Figure 20 : Mots significatifs utilisés pour décrire le littoral au rang 1, tous acteurs et pays confondus.

Les mots donnés au rang 1 des graphes constituent la première association faite avec le littoral et peuvent donc être considérés comme les plus importants aux yeux des personnes interrogées. La synthèse des résultats, tous acteurs et pays confondus (Fig. 20), fait ressortir en premier lieu les termes : *usages*, *sécurité* - cités 12 fois - et *gestion spécifique*, citée 11 fois. Ces mots décrivent une forme de complexité liée à la concurrence de multiples usages sur un territoire restreint et confirment ainsi les propos tenus en entretiens : le littoral permet de nombreux *usages* et nécessite par conséquent une *gestion spécifique* pour permettre un

développement en toute *sécurité*. Ces trois mots, qui arrivent en tête du nombre d'occurrences, mettent en exergue une vision sociale du littoral, guidée par des aspects sécuritaires. Viennent ensuite les mots : *dynamique*, *lieux-milieux* et *loisirs* avec une occurrence respective de 10, 9 et 9, ce qui ajoute à cette première vision sociale une dimension physique et dynamique. Enfin le mot *nature* a été cité 6 fois et les mots *biodiversité*, *concentrations/pressions* et *dune* 4 fois chacun. Cette troisième catégorie de mots décrit un autre aspect de la complexité du littoral : contenir les multiples pressions exercées sur ce territoire de frange pour en préserver la grande richesse écologique à l'origine même de son attraction. L'ensemble de ces trois catégories de mots offre un concentré de ce qui compose le littoral pour l'ensemble des personnes rencontrées, ingénieurs ou non, que l'on qualifiera de « vision sociale et physique » du littoral.

Un second niveau d'analyse à consister à distinguer les graphes remplis par les ingénieurs des autres graphes (Fig. 21). Le terme *diversité paysagère* atteint la plus grande occurrence chez les ingénieurs (6 sur 17 ingénieurs). Pour une plus grande lisibilité, différents mots initialement employés par les enquêtés et relevant de la description, ont été réunis derrière la combinaison *lieux-milieux*. Il s'agit d'une part des grandes unités géographiques telles le littoral méditerranéen, le littoral atlantique, le littoral de la Manche, la côte est anglaise ou la côte sud anglaise ; d'autre part d'unités biogéographiques telles les vasières, les prés salés, les prairies, les marais, ou encore d'unités géomorphologiques telles les falaises, les côtes sableuses, les estuaires, les baies ou les lagunes. Le mot de polder, paysage littoral par excellence, a également été regroupé dans cette catégorie. Ainsi, un tiers des ingénieurs rencontrés a mentionné au rang 1 différents lieux et milieux qu'offre le littoral. Ceci montre que ces derniers ne considèrent pas le littoral d'un bloc, mais plutôt comme la résultante de forces érosives ou constructrices, ayant façonné au fil du temps divers paysages faisant ressortir différentes unités biogéographiques également liées au gradient de salinité propre à ce territoire. Ce constat, s'il peut sembler évident *a priori*, est néanmoins très important pour expliquer la façon des ingénieurs d'envisager la gestion du littoral, ce qui sera détaillé *infra*. Par ailleurs, la plus faible occurrence de ce terme de *diversité paysagère* retrouvée chez les non ingénieurs comparativement aux autres mots cités, ne doit pas masquer un manque d'intérêt de ces derniers pour ce thème, mais sans doute leur recours à un vocabulaire environnemental plus riche pour décrire le littoral, divisant ainsi le total d'occurrences.

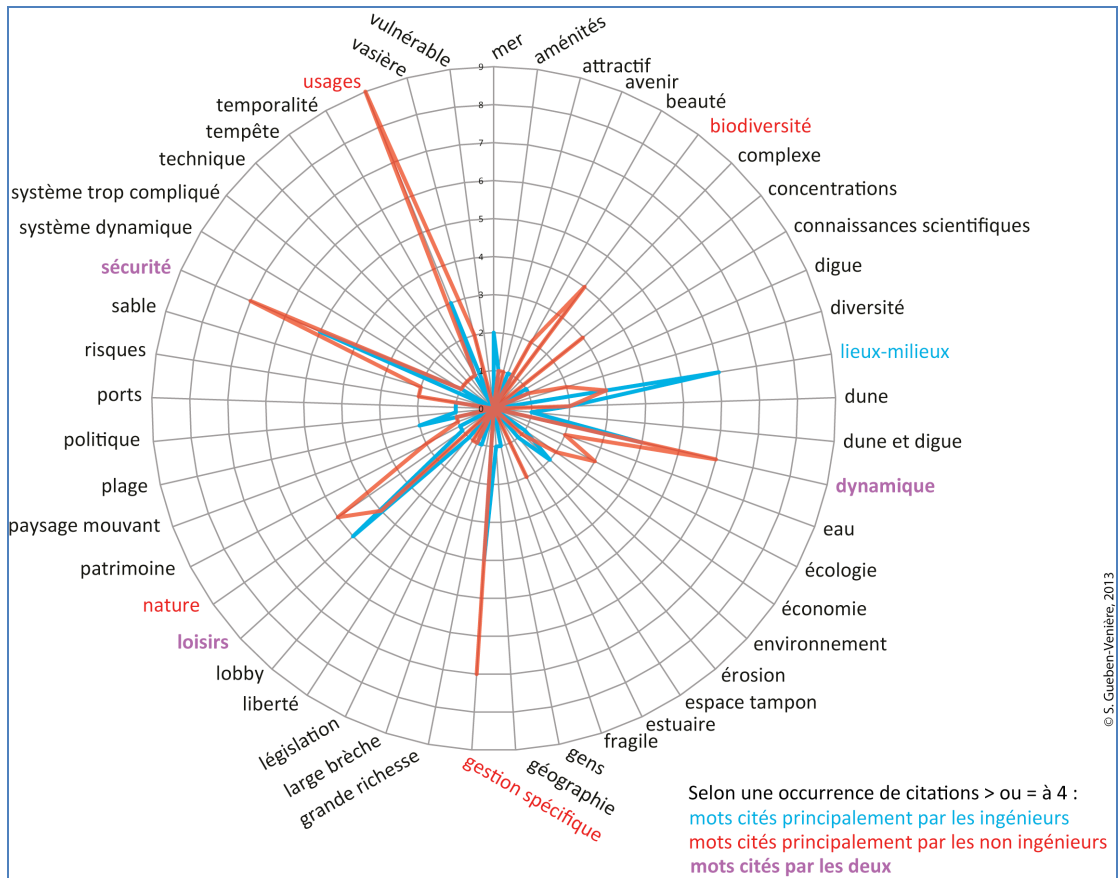


Figure 21 : Mots significatifs utilisés par ingénieurs et non ingénieurs pour décrire le littoral au rang 1.

La figure 21 montre que la distinction faite entre les graphes produits par les ingénieurs et ceux produits par les non ingénieurs, met en avant une forte homogénéité. Cette superposition permet de constater que les thèmes mentionnés de façon récurrente par les non ingénieurs le sont aussi par les ingénieurs.

Afin de mieux analyser les descriptions proposées par ces deux catégories d'acteurs et en montrer les nuances, les occurrences les plus fortes des mots significatifs ont été reprises dans le tableau 14 selon un ordre décroissant et un classement en trois catégories.

Occ	Ingénieurs (17)		Occ	Non ingénieurs (21)	
	Mots cités	Vision du littoral associée		Mots cités	Vision du littoral associée
6	Lieux-milieux	Sociale et physique	9	Usages	Sociale
5	Sécurité	Sécuritaire	7	Sécurité	Sécuritaire
5	Loisirs		7	Gestion	
4	Dynamique	Environnementale et sociale	6	Dynamique	Environnementale plus que sociale
4	Gestion		5	Nature	
3	Usages		4	Biodiversité	
			4	Loisirs	
			3	Concentrations/pressions	
			3	Écologie	
			3	Lieux-milieux	

Tableau 14 : Synthèse des plus fortes occurrences associées au mot littoral par les ingénieurs et les non ingénieurs.

À chaque catégorie a été associée une « vision du littoral » propre. Chez les non ingénieurs, les *usages* du littoral sont fortement mis en avant (près d'un non ingénieur sur deux a cité ce mot au rang 1 du graphe) et offrent une vision prioritairement sociale du littoral. Or la combinaison *lieux-milieus*, qui arrive en tête des occurrences pour les ingénieurs, recouvre également une vision sociale complétée d'une vision physique du littoral. La deuxième catégorie de mots (*sécurité* et *loisirs* pour les ingénieurs, et *sécurité* et *gestion* pour les non ingénieurs) renforce cette homogénéité en décrivant dans les deux cas une vision sécuritaire du littoral. Enfin, la troisième catégorie de mots offre une vision environnementale et sociale chez les ingénieurs, et une vision « plus verte » chez les non ingénieurs. La présence d'enjeux environnementaux pour décrire le littoral, constatée dans la figure 19 qui réunit tous les acteurs sans distinction de formations ou de pays, se retrouve donc à la fois chez les ingénieurs et les non ingénieurs. Ainsi le littoral n'est plus perçu uniquement du point de vue sécuritaire et technique par les ingénieurs. Cette constatation confirme donc l'homogénéité des propos recueillis en entretien auprès des deux catégories d'acteurs et le caractère complexe du littoral.

B. Un système dynamique

Le second point de ressemblance constatée entre les discours des ingénieurs et des non ingénieurs, concerne l'aspect dynamique du littoral. Le mot *dynamique* même a été cité 10 fois sur 38 personnes au total et figure ainsi en quatrième position des mots directement reliés à la notion de littoral. Là encore, les graphes produits par les ingénieurs et par les non ingénieurs montrent une similitude (Fig. 21) : l'aspect dynamique du littoral est décrit dans des proportions équivalentes par les premiers (4 sur 17) et les seconds (6 sur 21). L'analyse complémentaire des entretiens confirme ce constat.

Au cours des entretiens, plusieurs acteurs, ingénieurs ou non, ont décrit de façon spontanée le littoral comme un système dynamique, inscrivant définitivement leur réflexion dans un cadre spatio-temporel large :

« À l'échelle mondiale, on peut dire que l'ensemble des Pays-Bas relève du littoral ! Donc tout dépend de l'échelle d'observation... et de l'échelle de temps surtout : à court terme, la dynamique ne s'exerce pas sur un très grand espace (...). À long terme les choses sont différentes. Ce qui correspond aujourd'hui à la Hollande a été totalement submergé il y a 7-8000 ans, puis il a fallu plus de 5000 ans pour que l'on commence à reconnaître les frontières actuelles du pays »¹.

Bien que la perception de la dynamique du littoral soit très variable selon les acteurs interviewés, tous prennent en compte la mobilité du littoral, envisagent les mouvements de marées et décrivent les courants dynamiques. Un ingénieur anglais expliquait à ce propos :

¹ Extrait d'entretien d'un physicien néerlandais

« Je n'aime pas le terme de trait de côte car cette idée de trait implique que les choses soient figées. Or cela fluctue, la côte est dynamique. Et je pense que cette idée est maintenant partagée par tout le monde : cela ne viendrait à l'esprit de personne de draguer des sédiments trop proche d'une plage parce que nous savons précisément que c'est un milieu dynamique et que cela déclencherait un phénomène d'érosion »¹².

Cette vision dynamique du littoral est ainsi partagée par l'ensemble des acteurs et à l'origine même de leur réflexion sur la gestion de ce territoire à mettre en œuvre comme l'explique cet autre ingénieur anglais : *« Vous êtes obligé d'envisager le littoral de façon dynamique, sinon vous ne pouvez tout simplement pas faire de gestion du littoral ! »*¹³ Les discours consacrés en France au projet de gestion de la lagune de la Belle Henriette et aux Pays-Bas à celui de *ZandMotor* illustrent particulièrement bien cette assertion.

1. Des discours soutenant définitivement une vision dynamique du littoral

a. La prise en compte du dynamisme du secteur de la Belle Henriette pour une gestion renouvelée et « sans regret » du site

Le nouveau mode de gestion envisagé pour la lagune de la Belle Henriette, et décrit dans le chapitre précédent, montre une rupture avec les pratiques passées. Celle-ci se lit d'une part dans l'élargissement des enjeux à prendre en compte – les enjeux environnementaux sont devenus tout aussi importants à prendre en compte que les enjeux sécuritaires – et d'autre part dans la vision dynamique dans le temps et dans l'espace que les acteurs et les ingénieurs en particulier ont du littoral. En effet, la solution retenue envisage non plus le cordon dunaire comme un trait de côte qu'il faudrait maintenir à tout prix, mais un littoral à protéger, autrement dit une « zone tampon » comprenant l'ensemble de la lagune. Voici ce qu'expliquait un ingénieur de la DDTM sur la nouvelle stratégie de gestion adoptée :

« La première stratégie mise en œuvre jusqu'à présent, visait à contrecarrer la dérive littorale par la pose d'épis puis par le rechargement régulier en sable pour éviter qu'il y ait trop d'érosion. La seconde stratégie prise en compte aujourd'hui, consiste à accepter le fait que oui, il y a une dynamique sédimentaire particulièrement forte dans ce secteur, qu'il y aura toujours de l'érosion et que nous n'avons pas de solution clé en main pour y répondre ».

La solution retenue a ainsi été décrite par les ingénieurs comme une solution adaptée au contexte particulier de la Belle Henriette, c'est-à-dire une solution dite « sans regret » pour l'avenir. Cette expression, mentionnée à plusieurs reprises en entretien, montre bien la réflexion à long terme qui a été discutée entre acteurs. Sans être allés jusqu'à étudier la

¹² « I don't like the word coastline because the line implies that it's fixed here. But it moves, the coast is dynamic. And I do think that this idea is now shared by everybody : that wouldn't come up to mind to anybody now to dredge too closed from the beach cause we precisely know that it's a dynamic and that dredging too closed would provoc erosion »

¹³ « You must see the coast in a dynamic way, otherwise you simply can't manage the coast ! »

relocalisation de certains équipements touristiques tels les campings situés sur le flanc nord-est de la lagune, les acteurs ont néanmoins pris en compte une échelle de temps plus longue qu'auparavant. Les ingénieurs en particulier, n'envisagent plus la gestion de ce site à l'échelle de la vie d'un ouvrage, soit une quinzaine d'années, mais prennent en compte un pas de temps d'au moins cinquante ans et allant jusqu'à l'horizon 2100. Or cette nouvelle démarche ne semble pas être un cas isolé. Les ingénieurs néerlandais par exemple ont été encore plus loin, poussant la démarche jusqu'à utiliser la dynamique littorale naturelle comme unique force de gestion de la côte sableuse hollandaise à court, moyen et long termes.

b. La dynamique littorale naturelle ou l'énergie du « moteur à sable » néerlandais

La figure 22 expose les échelles spatiales et temporelles qui ont été discutées en amont du projet néerlandais *ZandMotor* et qui ont permis d'aboutir à l'élaboration collective de cette solution originale de gestion. Ce schéma, prenant en compte l'emboîtement des différentes échelles spatio-temporelles du littoral, a été systématiquement montré en entretien par les enquêtés, quelle que soit leur formation. Le premier bloc diagramme représente l'échelle de la dune résiduelle dont le profil peut évoluer très rapidement. Cette zone émergée du littoral est particulièrement vulnérable aux tempêtes qui peuvent arracher aux dunes plusieurs dizaines de mètres cube de sable en quelques heures. Le deuxième bloc diagramme correspond à l'échelle de l'estran qui peut aller jusqu'à plusieurs centaines de mètres, voire quelques kilomètres lorsque le profil de plage est peu pentu. L'échelle temporelle correspondante est celle de l'année pendant laquelle le profil de plage évolue au fil des saisons. Enfin le troisième bloc diagramme prend en compte ce que les Néerlandais appellent la *kustfundament* et que l'on peut traduire par fondation côtière en français. Les limites de cette dernière dépassent les marges du schéma et la dynamique littorale correspondante doit s'envisager sur plusieurs décennies, voire plusieurs siècles.

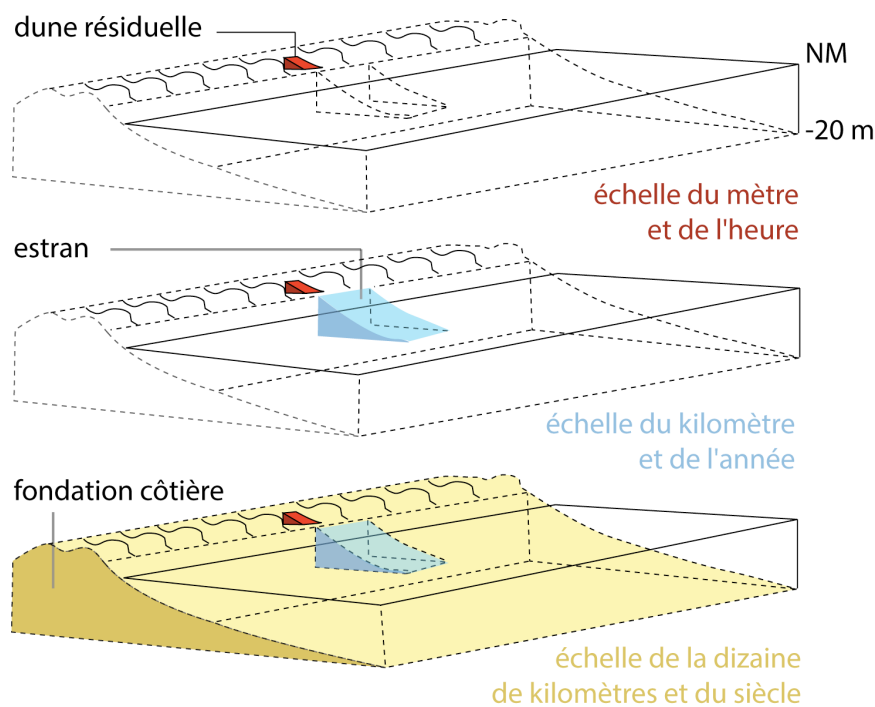


Figure 22 : emboîtement des échelles spatio-temporelles du projet ZandMotor.
 Source : Mulder, 2010, modifié.

En somme, c'est parce que les acteurs de ce projet se représentent le littoral comme un système dynamique qu'ils ont pu imaginer un mode de gestion utilisant précisément les dynamiques naturelles du littoral pour évaluer le temps de dispersion à moyen terme des millions de mètres cube de sable déposés en 2011. Il est évident qu'en l'absence d'une compréhension du littoral comme système dynamique, ils n'auraient pu mettre en œuvre ce projet. De même l'ingénieur de génie civil Marcel Stive, qui a participé à la rédaction du Plan Delta 2¹⁴, expliquait que la toute première discussion du comité pluridisciplinaire avait porté sur la nécessité d'envisager le littoral d'un point de vue dynamique :

« Durant le premier meeting de l'élaboration d'une stratégie nationale de gestion du littoral, dans le contexte du changement climatique et après 1h30 de discussion, nous avons décidé de considérer l'ensemble des problèmes liés à l'eau, car tout est connecté [...]. C'est pourquoi j'envisage personnellement une définition large du littoral néerlandais, qui inclurait les rivières et les estuaires »¹⁵.

Cet extrait d'entretien montre le lien direct qui est fait entre représentation de la zone littorale, et par conséquent sa délimitation, et appréhension dynamique du système littoral.

¹⁴ Delta Commissie, 2008, *Working together with water. A living land builds for its future*, Wilfried ten Brinke (Ed.), p.134.

¹⁵ « At the first meeting to elaborate that report about an integral plane for the coast in the light of climate change and after 1h30 of discussion, we decided to integrally look at all the water problems, because everything is connected [...]. So I go for a wild definition of the coast, which would includes the rivers and the estuaries ».

2. Une vision dynamique mise en valeur par les cartes mentales.

La question de la délimitation du littoral, bien qu'ayant présenté quelques difficultés pour certains acteurs, a donc été importante à poser pour mieux comprendre dans quelle mesure ces derniers se représentent le littoral comme un système dynamique ou non. Le recours aux cartes mentales a alors joué un rôle très intéressant.

Dans un premier temps, plusieurs personnes ont exprimé quelques réticences à se plier à l'exercice de délimitation du littoral et ont parfois même considéré caduque la question :

« Le littoral n'a pas de limites. Il relève de questions problématiques et non de frontières »¹⁶

« Je conteste même la notion de limite. Il n'y a pas de limites ; le littoral est une espèce de continuum. Plus on s'en éloigne plus on perd en littoralité ».

Pourtant, lorsqu'est venu le moment d'inviter les interviewés à dessiner leur propre représentation du littoral sur un fond de carte, la question des limites de ce territoire est devenue incontournable, et l'échange de réflexion a alors réellement commencé. Au-delà d'un approfondissement du discours, le recours aux cartes mentales a également permis de mettre en exergue certaines contradictions. Au cours de chaque entretien, il était demandé à l'enquêté de définir le littoral, puis de le dessiner selon la consigne suivante : *« sur cette carte à l'échelle nationale, pouvez-vous tracer ce qui correspond selon vous au littoral¹⁷ ? »*. Trois exemples d'apports liés à l'emploi de cartes mentales aux Pays-Bas sont présentés ici¹⁸.

« Comment définiriez-vous le littoral ? »

« Eh bien... Vous avez trois types de côtes aux Pays-Bas : la Mer des Wadden, les dunes et le delta. Donc le littoral néerlandais, c'est tout ça à la fois ! »¹⁹

L'enquêté a fourni ici des exemples de caractéristiques du littoral néerlandais - informations certes précieuses - mais n'a pas réellement défini le littoral, associé à un « tout ça » peu précis. Le fait de demander par la suite de le dessiner sur fond de carte a permis d'en préciser les limites terrestre et marine, ce que le simple discours ne fournissait pas. La carte mentale présente donc parfois l'avantage de contourner les difficultés du discours.

¹⁶ *« It has no boundaries. The coast is about issues, not about boundaries »*

¹⁷ Les entretiens ayant été effectués en anglais, la question posée était la suivante : *« What limits would you set for the coast on this basic map, at the national scale ? »*.

¹⁸ Le paragraphe suivant sur l'utilisation des cartes mentales a fait l'objet d'un article en français et en anglais : Servane Gueben-Venière, « En quoi les cartes mentales, appliquées à l'environnement littoral, aident-elles au recueil et à l'analyse des représentations spatiales ? », *EchoGéo* [En ligne], 17 | 2011

¹⁹ *« How would you define the coast? » - « Well... You have three types of coasts in the Netherlands : the Wadden Sea area, the dune area and the delta area. So the Dutch coast is all this at the same time! »*

« *Le littoral, c'est le trait de côte !* »²⁰

La définition produite par l'enquêté semble simple et presque évidente. Pourtant, lorsqu'il prend un crayon pour tracer ce trait de côte, il est confronté à une difficulté qu'il n'avait pas anticipée : comment représenter graphiquement le trait de côte dans la région du delta zélandais ? Où s'arrête la limite marine associée à la côte, où commencent les rives du fleuve de l'Escaut Occidental ? De même, la difficulté réapparaît dans la région nord : doit-on exclure du littoral les îles de la mer des Wadden ? Ou doit-on les inclure, et par conséquent accepter l'idée que le littoral ne peut pas systématiquement être réduit à un trait, mais qu'il correspond plutôt à une aire ? Autant de questions auxquelles l'enquêté n'aurait sans doute pas répondu s'il n'avait pas eu à dessiner, c'est-à-dire à spatialiser les représentations qu'il se fait du littoral.

« *Le littoral correspond aux digues et aux dunes* »²¹

Si l'enquêteur se contente de cette réponse verbale, le littoral ainsi défini semble se résumer à une zone comprenant des éléments terrestres visibles (les digues : produit de l'ingénierie civile, et les dunes : unité géomorphologique). La soumission du fond de carte a permis à l'enquêté de développer sa pensée : il était facile pour cette personne de représenter les dunes sur la carte et donc de délimiter les limites terrestres du littoral. Mais très rapidement, l'enquêté a réalisé que le littoral ne pouvait se limiter à cette zone terrestre et que la mer faisait partie intrinsèque de la zone côtière. La confrontation avec la carte a donc permis à l'enquêté d'élargir la limite marine du littoral jusqu'aux 20 mètres de profondeur correspondant à la « profondeur de fermeture »²². L'effort de spatialisation demandé à l'enquêté a donc permis d'obtenir une information cruciale : sans l'avoir formulé spontanément à l'oral, ce dernier a finalement abordé l'aspect dynamique du littoral et l'a défini non plus comme une zone, mais comme un système dynamique à envisager dans sa globalité.

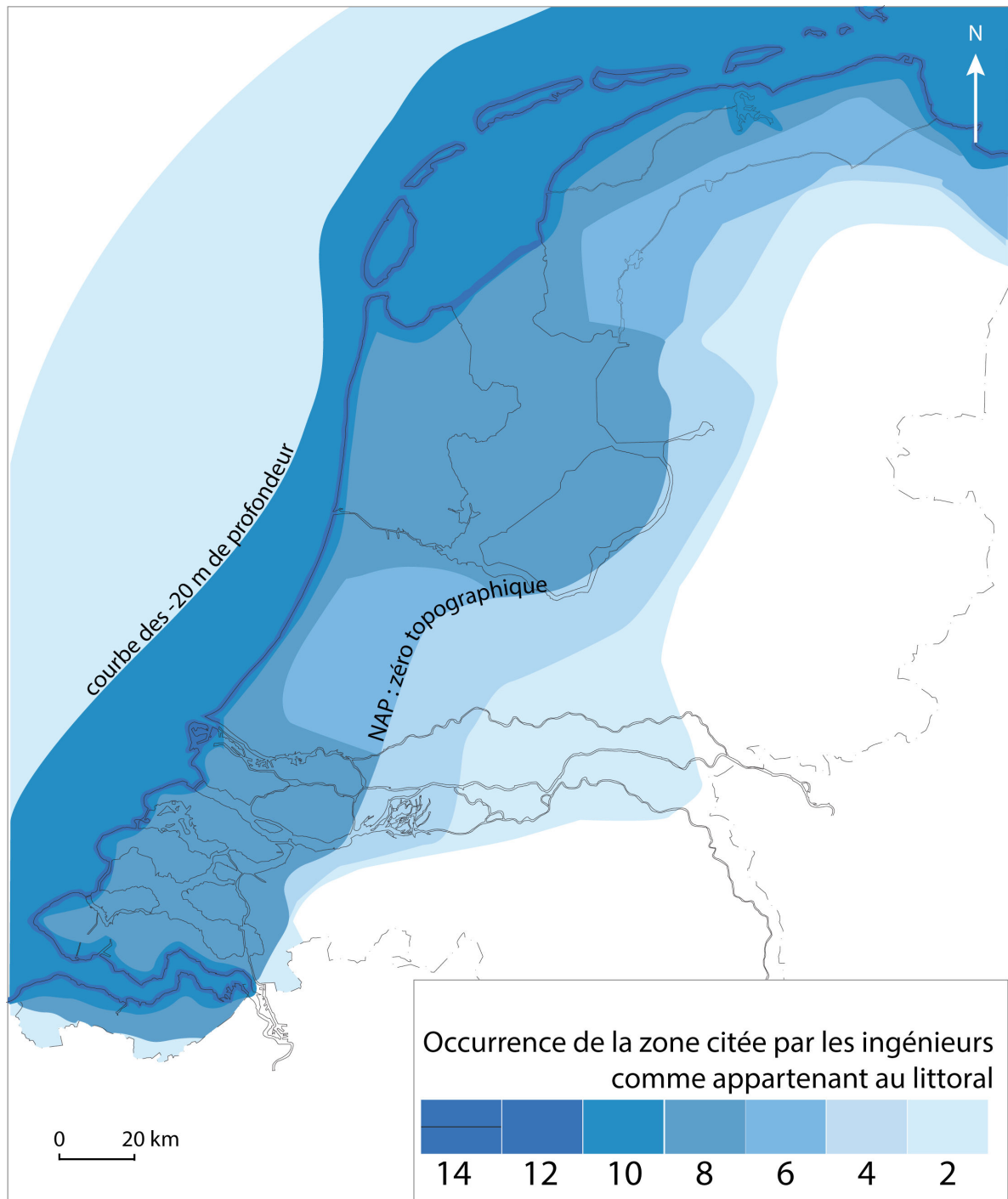
Comme décrit dans le chapitre 3, consacré à la méthode et aux techniques de recherche, les cartes mentales produites ont été superposées²³. Voici le résultat obtenu, après une distinction faite entre les cartes produites par les ingénieurs du génie civil néerlandais et celles produites par les autres scientifiques rencontrés aux Pays-Bas (écologues, géographes, sédimentologues, géomorphologues, géologues, ingénieurs agronomes etc.).

²⁰ « *The coast is the coastline !* »

²¹ « *The coast corresponds to the dikes and the dunes* »

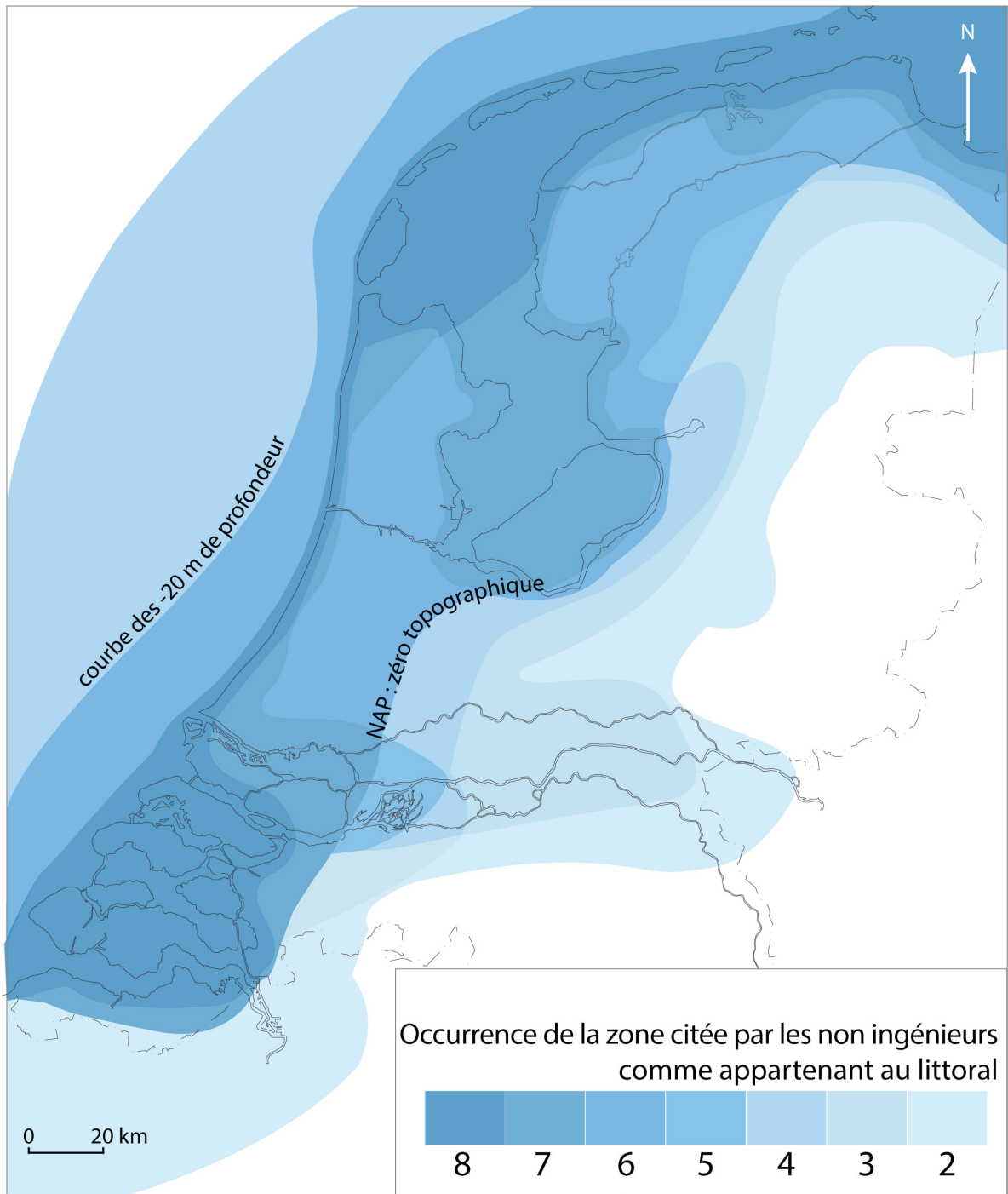
²² En effet, lorsque des travaux de rechargement en sable sont effectués pour lutter contre l'érosion des dunes, le sable est prélevé au-delà des 20 mètres de profondeur, car il est admis dans la communauté scientifique néerlandaise que la dynamique d'évolution naturelle des dunes s'exerce généralement jusqu'à cette profondeur.

²³ cf. chapitre 3



Carte 23 a : Occurrence de la zone citée par les ingénieurs comme appartenant au littoral.
 NAP : Normal Amsterdam Peil (zéro topographique).

Réalisation : S. Gueben-Venière, J.-F. Cuenot, 2011.



Carte 23 b : Occurrence de la zone citée par les non ingénieurs comme appartenant au littoral.
 NAP : Normal Amsterdam Peil (zéro topographique).

Réalisation : S. Gueben-Venière, J.-F. Cuenot, 2011.

Les cartes 23 a et b décrivent, selon un code couleur, les zones que les ingénieurs et les non ingénieurs néerlandais considèrent appartenir au littoral. Plus la zone est foncée, plus grand est le nombre de personnes l'ayant défini comme « zone littorale ». Par ailleurs, afin de faciliter la comparaison visuelle entre les zones citées par les ingénieurs et celles citées par les non ingénieurs, une même intensité de bleu a été donnée aux zones délimitées par le même nombre de personnes. Par exemple, l'intensité de bleu donnée à la zone citée par 6 ingénieurs sur la carte de gauche est la même que pour la zone citée par 6 non ingénieurs sur la carte de droite. Il en est de même pour les zones citées par 2, 4 et 8 personnes.

Au total, 14 ingénieurs ont produit une carte mentale contre 8 non ingénieurs. L'échantillon est donc relativement faible et non équivalent pour les ingénieurs et les non ingénieurs. Par conséquent la comparaison des cartes produites par les uns et par les autres doit être envisagée avec prudence.

Sur les cartes produites par les ingénieurs (à gauche), la zone bleue la plus claire commence au-delà de la profondeur de fermeture (-20 m) et s'étend loin dans les terres, jusqu'à une altitude d'environ 3 m. Or cette zone bleue correspond au chiffre 2 dans la légende, ce qui signifie que 2 ingénieurs sur les 14 ayant participé à l'exercice, attribuent au littoral une délimitation très large. À l'inverse, la zone la plus foncée, c'est-à-dire plus large que l'estran de quelques mètres côté mer et côté terre, a été décrite comme appartenant au littoral par 12 ingénieurs sur 14. Ceci signifie que seuls 2 ingénieurs (14 au total moins ces 12 ingénieurs) réduisent la notion de littoral au simple trait de côte, et par conséquent, que 12 ingénieurs sur un total de 14 distinguent le littoral du trait de côte. De même, la zone bleue correspondant au nombre 10 dans la légende, montre que 10 ingénieurs sur 14 étendent le littoral côté mer jusqu'à la profondeur des -20 m. Ainsi, deux tiers des ingénieurs attribuent au littoral un volume sous-marin et l'appréhendent comme un système dynamique. Au-delà de cette analyse côté mer, la limite attribuée au littoral côté terre est plus difficile à faire ressortir chez les ingénieurs : au minimum, six d'entre eux utilisent le zéro topographique comme limite terrestre (NAP). Ce qui apparaît plus clairement en revanche est l'attribution pour 8 ingénieurs sur 14 d'une surface terrestre relativement large, qui ne meurt pas avec la disparition des dunes par exemple, mais qui inclut au contraire le delta zélandais, la Hollande septentrionale, l'IJsselmeer ainsi que le Flevoland.

Sur les cartes produites par les autres scientifiques (à droite), le littoral est d'emblée délimité de façon plus large. Quatre non ingénieurs sur huit - soit la moitié - attribuent au littoral une délimitation large allant bien au-delà des -20 m de profondeur côté mer. Par ailleurs, la totalité des non ingénieurs admet que le delta zélandais au sud, ainsi que la mer des Wadden et ses îles au nord, font partie intégrante du littoral néerlandais. Aucun, par exemple, ne réduit ce dernier au trait de côte.

Ces deux « cartes moyennes » présentent des similitudes : les caractéristiques du littoral des ingénieurs se rapprochent de celles des autres scientifiques. L'opposition entre une vision linéaire et statique du littoral, longtemps imputée aux ingénieurs, et celle, plus large et systémique, généralement attribuée aux autres scientifiques, s'estompe. Ainsi, la vision dynamique du littoral n'est plus le monopole des non ingénieurs et ces deux catégories d'acteurs semblent désormais partager une vision dynamique commune. Cette attention portée

aux limites terrestres et marines des uns puis des autres a donc permis de mieux cerner le cadre à partir duquel chacun envisage l'environnement littoral qu'il aménage et imagine la gestion du « littoral de demain ».

C. Une vision du « littoral de demain » liée à l'intégration d'enjeux environnementaux

L'exercice de projection demandé aux interviewés lorsque leur a été posée la seconde question : « *Selon vous, à quoi correspondrait une gestion idéale du littoral ? En somme, comment envisagez-vous le littoral de demain ?* », s'est révélé très riche d'enseignement, tant dans l'analyse des discours que des graphes associatifs. Les résultats décrivent en effet non seulement une volonté de renforcer l'intégration d'enjeux environnementaux dans la gestion à venir du littoral, mais montrent de plus que cette volonté est partagée par les non ingénieurs comme par les ingénieurs.

1. L'analyse des discours...

De façon générale, quels que soit les profils des acteurs, quatre points ressortent des discours sur les modalités d'une gestion optimisée du littoral. Voici quelques extraits d'entretien illustrant cette synthèse.

Sur la nécessité d'une gestion intégrée :

« La future gestion du littoral doit trouver un meilleur équilibre entre développement de la nature, développement socio-économique et enjeux sécuritaires. Par ailleurs, chacun de ces trois axes doit avoir un leader bien déterminé et respecté. »²⁴

« Une gestion idéale du littoral devrait bien prendre en compte les différentes dimensions du développement durable : l'environnement, l'économie et le social, sans les opposer. »²⁵

« On est progressivement passé de la notion d'équipement puis d'aménagement à celle de gestion, c'est-à-dire à l'introduction de paramètres autres que uniquement liés à la construction. La notion de GIZC est alors particulièrement intéressante car elle permet d'identifier les priorités. »²⁶

Par ailleurs le souci d'adapter cette approche intégrée aux spécificités du littoral a également été mentionné spontanément et à plusieurs reprises :

²⁴ « *Coastal management in future should find a better balance between nature development, socio-economic development and flood defense development. Furthermore, each category should get a clear and respected leader* », extrait d'entretien d'un ingénieur néerlandais.

²⁵ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un non ingénieur français.

²⁶ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur français.

« Je crois que la solution idéale c'est d'être flexible, dans l'espace et dans le temps. À l'image de ce que propose le programme Comcoast par exemple. »²⁷

« La première chose à faire serait d'accepter et de travailler avec la mobilité du trait de côte. »²⁸

« Il faudrait développer ce qui est en train de naître : chercher des solutions flexibles et abandonner l'idée d'ingénierie lourde. »²⁹

La question des échelles de gestion à prendre en compte n'a pas été évincée et les discours ont été particulièrement fournis notamment sur la coordination entre directives européennes, stratégie nationale et mise en œuvre d'une gestion régionale, et par conséquent les emboîtements d'échelles spatio-temporelles à envisager :

« L'idée est de mutualiser les efforts, c'est-à-dire que les différents niveaux, national régional et local, travaillent ensemble »³⁰

« Les premiers Shoreline Management Plans ont été produits à la fin des années 1990. Ils sont apparus comme une nouvelle façon de penser, révolutionnaire : la dynamique et la géomorphologie littorale doivent constituer la base de votre décision. Et je pense que ces Shoreline Management Plans sont dans le vrai. »³¹

« Je pense que le problème principal est un problème d'échelle à prendre en compte : tant que l'échelle de gestion sera celle de la commune, on ne pourra pas prendre de recul et cela ne fonctionnera pas. »³²

« Une gestion idéale du littoral consisterait à ne plus prendre pour référence l'échelle administrative, mais celle des cellules sédimentaires. »³³

Enfin, l'importance de la concertation et du travail de communication auprès de la population est aussi ressortie à maintes reprises dans les discours :

« Nous devrions engager la concertation plus tôt dans le processus décisionnel. De plus la consultation doit être transparente et prise en considération. Enfin, le savoir-faire technique doit être expliqué à la population »³⁴

« L'Europe a fait une étude il y a quelques années sur les pays possédant un littoral, et je crois qu'ils ont trouvé quelque chose comme 150 organisations concernées par la gestion du littoral quel que soit le pays considéré. Essayer de faire travailler ensemble toutes ces organisations relève de l'impossible. Cela ne veut pas dire que la concertation est impossible. Cela veut dire que nous devons simplifier les choses pour la rendre efficace. »³⁵

²⁷ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un non ingénieur néerlandais.

²⁸ « *The first thing to do would be to accept working with the mobility of the coastline* », extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur néerlandais.

²⁹ « *One should develop what's happening : to find flexible solutions and to abandon the idea of heavy engineering* », extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur anglais.

³⁰ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur français.

³¹ « *The first Shoreline Management Plans, were produced in the late 90's. They were a breakthrough, saying coastal processes and geomorphology should be the basis of your decisions. And I think they were right* », Extrait d'entretien réalisé auprès d'un non ingénieur anglais.

³² Extrait d'entretien d'un ingénieur français.

³³ Extrait d'entretien d'un ingénieur français.

³⁴ « *We should engaging with communities earlier in decision. Furthermore consultation must be transparent and taken into account. At last technical knowledge must be explained to people* », extrait d'entretien d'un non ingénieur anglais.

³⁵ « *The EU did a study some years ago around european countries who have coast, and I think they found about 150 organizations involved in coastal management in anyone state. And trying to get them all working together Under one*

« Nous devons sérieusement commencer à parler aux gens du long terme. »³⁶

« Nous devons adopter une approche holistique. Ne pas opposer les compétences mais réunir les efforts pour travailler ensemble. »³⁷

Ces quatre points, qui ont été mentionnés de façon récurrente dans les discours, sont également ressortis dans l'analyse des graphes associatifs.

2. ... confirmée par l'analyse des graphes associatifs

a. Analyse des graphes portant sur la gestion du littoral de demain, tous acteurs confondus

L'analyse des mots signifiants décrivant la gestion idéale ou optimisée du littoral montre une forte prise en compte des enjeux environnementaux par les 37 personnes ayant remplis les graphes, toutes catégories d'acteurs confondus (Fig. 22). Les plus fortes occurrences sont attribuées au mot *adaptée*, cité 8 fois, et à l'expression *travailler avec la nature*, citée 7 fois. Les acteurs envisagent donc une vision prioritairement environnementale de la gestion du littoral de demain, prenant en compte la spécificité du territoire littoral et mettant en avant la nécessité d'une adaptation à la dynamique littorale et aux différents cycles d'érosion ou de rechargement des côtes basses. L'expression *travailler avec la nature* a été mentionnée en ce sens et résume l'idée selon laquelle les gestionnaires doivent avoir compris en amont du processus de décision comment les échelles spatio-temporelles se rencontrent pour imaginer une gestion allant dans le sens et non contre les mouvements dynamiques naturels du littoral. Ces premiers résultats confortent ainsi les propos tenus en entretien.

Viennent ensuite une série de mots : *intégrée* et *politique nationale* ont été cités 6 fois ; *amélioration des connaissances scientifiques*, *coordination*, *planification*, *sécurité* ont été cités 5 fois. Ceci offre une vision que l'on peut qualifier de sociale et réglementaire. Par ailleurs, la mention de *l'amélioration des connaissances* se comprend parfaitement en complément des entretiens : en somme, de nombreux acteurs ont fait part du besoin d'améliorer les connaissances scientifiques sur le fonctionnement du littoral pour éviter de reproduire certaines erreurs du passé telles l'obstination à avoir voulu fixer un trait de côte par essence mobile, là où cela aurait pu être évité. Un ingénieur français expliquait à ce propos :

« Je pense que la stratégie de promotion des observatoires pour suivre le trait de côte est absolument nécessaire pour créer une passerelle entre ingénieurs et scientifiques et mieux comprendre le fonctionnement des dynamiques littorales. [...] C'est de cette façon, en mutualisant les savoirs, que nous, techniciens scientifiques, l'on évitera de reproduire certaines erreurs.[...] »

body is almost impossible. That doesn't mean dialogue is impossible. That means that we must simplify things to turn it effective », extrait d'entretien d'un ingénieur anglais.

³⁶ « We seriously need to talk to people about the long term », extrait d'entretien d'un non ingénieur anglais.

³⁷ « We must adopt an holistic approach. Not to oppose skills, but to gather efforts to work together », extrait d'entretien d'un non ingénieur anglais.

Enfin, une troisième série de mots ou expressions, cités 4 fois chacun, se démarque de l'ensemble : *multifonctionnalité*, *multiscaleire*, *conservation/préservation de la nature*, *améliorer la culture du risque*, *durable*. Là encore, ressort l'importance des échelles spatio-temporelles à prendre en compte pour mieux intégrer l'ensemble des usages, enjeux et fonctionnalités du littoral à long terme. De même derrière l'expression *améliorer la culture du risque*, l'on retrouve la volonté de mieux communiquer avec les populations locales, largement mentionnée en entretien. Cette troisième catégorie de mots apporte une nuance dynamique à la vision environnementale, sociale et réglementaire précédemment décrite du littoral de demain.

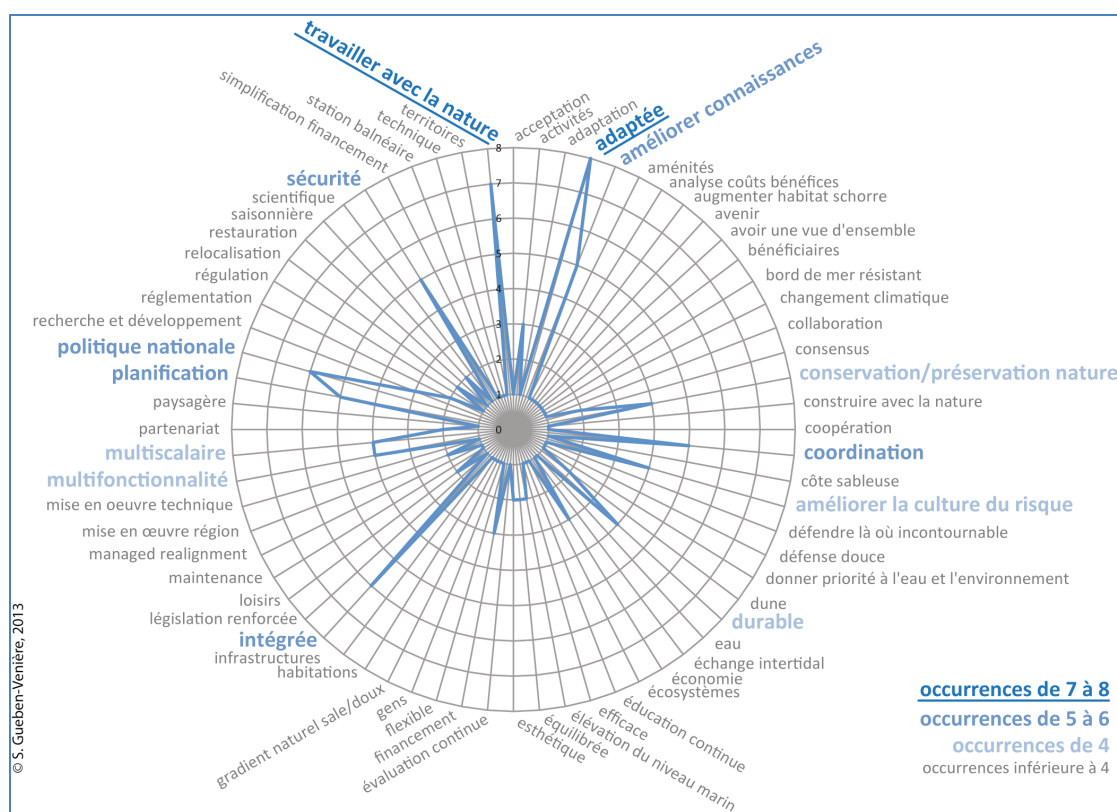


Figure 23 : Mots signifiants utilisés pour décrire la gestion idéale du littoral de demain, tous acteurs et pays confondus.

b. Comparaison des graphes portant sur le « littoral actuel » et la gestion du « littoral de demain », tous acteurs confondus

La comparaison des occurrences des mots cités au rang 1 des graphes relatifs à la description du littoral actuel et à une gestion idéale ou optimisée du littoral de demain montre une affirmation du poids des enjeux environnementaux (Tab. 15).

Littoral actuel (38)			« Gestion idéale » ou littoral de demain (37)		
Occ	Mots cités	Vision associée	Occ	Mots cités	Vision associée
12	Sécurité	Sociale	8	Adaptée	Environnementale
12	Usages		7	Travailler avec la nature	
11	Gestion spécifique		6	Intégrée	Sociale et réglementaire
10	Dynamique	Dynamique et sociale	6	Politique nationale	
9	Lieux-milieux		5	Améliorer connaissances	
9	Loisirs		5	Coordination	
			5	Planification	
			5	Sécurité	
5	Nature	Ecologique et sociale	4	Améliorer culture risque	Dynamique et multiscalaire
4	Dune		4	Cons./protection nature	
4	Biodiversité		4	Durable	
4	Concentrations/pressions		4	Multifonctionnalité	
			4	Multiscalaire	

Tableau 15 : Synthèse des plus fortes occurrences du rang 1 des graphes associatifs « Littoral actuel » et « Gestion littorale », et vision associée pour tous les acteurs.

Ainsi la vision sociale, utilisée par l'ensemble des acteurs pour qualifier le « littoral actuel » est toujours présente pour le « littoral de demain », mais apparaît en deuxième position. Au cœur de cette vision sociale, la *sécurité* revêt un caractère particulier. Associé aux discours, ce mot montre qu'il semble de plus en plus logique aux yeux des acteurs que l'on puisse gagner en sécurité lorsque les efforts de gestion se concentrent sur la diminution de la vulnérabilité des populations. Cette diminution de la vulnérabilité passe en effet par une meilleure communication sur les risques côtiers, par la prise de conscience du fait que la construction d'équipements lourds ne doit plus être la première solution envisagée pour assurer la sécurité des populations, et qu'une réflexion plus large et à plus long terme est plus efficace. Ceci a été mentionné à plusieurs reprises en entretien et particulièrement bien expliqué par un ingénieur rattaché à la DREAL des Pays de la Loire :

« On a pendant très longtemps réfléchi à des logiques de défense, de lutte contre les événements naturels : l'homme se sentait en capacité de se défendre des aléas pour se protéger. [...] Tout l'historique des programmes d'intervention sur le littoral reflète cette posture : il y a encore quelques petites années de cela, on parlait de défense contre la mer. [...] Ces approches étaient à mon avis trop réductrices parce que de toute façon la nature est plus forte que nous et il faut admettre aujourd'hui que toutes les stratégies de réponse que l'on peut mettre en place sont faillibles. C'est une certitude. [...] Or s'enfermer dans une logique de lutte contre les inondations c'est extrêmement dangereux parce que cela revient à nier le phénomène et c'est surtout considérer que l'on n'est plus exposé au risque, ce qui conduit à n'être

pas préparé du tout le jour où l'événement survient. [...] Même si cela peut sembler encore timide aujourd'hui, on se met dans l'état d'esprit de mieux connaître ces événements, de mieux les comprendre pour se préparer, trouver les meilleures réponses et donc être le moins vulnérable possible. L'une des idées clés c'est de réduire les dommages pour permettre un retour à la normale le plus rapide d'un territoire touché. Et là on est vraiment sur un changement de paradigme : [...] avoir une approche beaucoup plus intégrée et globale des risques ».

La vision prioritairement environnementale qui ressort pour la gestion du « littoral de demain » est donc particulièrement intéressante et confirme ce qui s'esquissait dans la description du « littoral actuel » : le littoral ne saurait être géré de façon optimale sans la prise en compte simultanée de plusieurs enjeux. Or une vision environnementale de la gestion, au sens géographique du terme³⁸, permet cette démarche. On constate donc une évolution intéressante entre « littoral actuel » dont la description incluait certes plusieurs enjeux (dont des enjeux écologiques), mais se présentait de façon sectorisée en déclinant des types de paysages, des catégories de pressions exercées etc., et la démarche à mettre en œuvre pour la gestion du « littoral de demain ». Celle-ci offre au contraire une vision systémique faisant le lien entre les différents enjeux à prendre en considération à travers une démarche dynamique et non figée. En somme, l'on n'est plus dans une démarche d'équipement et d'aménagement du littoral, mais on ne semble pas encore être pleinement dans la démarche plus complexe de gestion intégrée du littoral. Or c'est précisément l'objectif à atteindre pour le « littoral de demain » selon l'ensemble des personnes rencontrées.

« La gestion du littoral ne doit pas être abordée de façon séquencée. [...] vous n'allez pas faire un schéma pour tel risque, un autre schéma pour tel autre risque, encore un autre schéma pour la protection des petites bêtes... Non ! Si on veut faire un travail intelligent, il faut avoir une vision d'ensemble »³⁹.

c. Comparaison entre ingénieurs et non ingénieurs (graphes sur « le littoral de demain »)

Enfin, la distinction faite entre les réponses formulées par les ingénieurs et les non ingénieurs montre que les premiers comme les seconds partagent une vision commune de ce que pourrait être le « littoral de demain ». La concordance des mots cités est très parlante. Le qualificatif d'*adaptée* a été cité 4 fois chez 17 ingénieurs et 4 fois chez 20 non ingénieurs. De même l'expression *travailler avec la nature* a été mentionnée de façon équivalente : 4 fois par les ingénieurs et 3 fois par les non ingénieurs. Les ingénieurs ont cité 3 fois la notion de *recherche et développement*, les non ingénieurs 3 fois *l'amélioration des connaissances*. La *coordination*, la *sécurité* et la *planification* ont également été mentionnées dans des proportions équivalentes par les uns et les autres. La vision environnementale de la gestion du

³⁸ C'est-à-dire un construit social relevant d'interactions complexes entre le milieu littoral et les usages qui en sont faits

³⁹ Extrait d'entretien d'un non ingénieur français.

« littoral de demain » ne saurait donc être le privilège de l'une ou l'autre des deux catégories d'acteurs distingués.

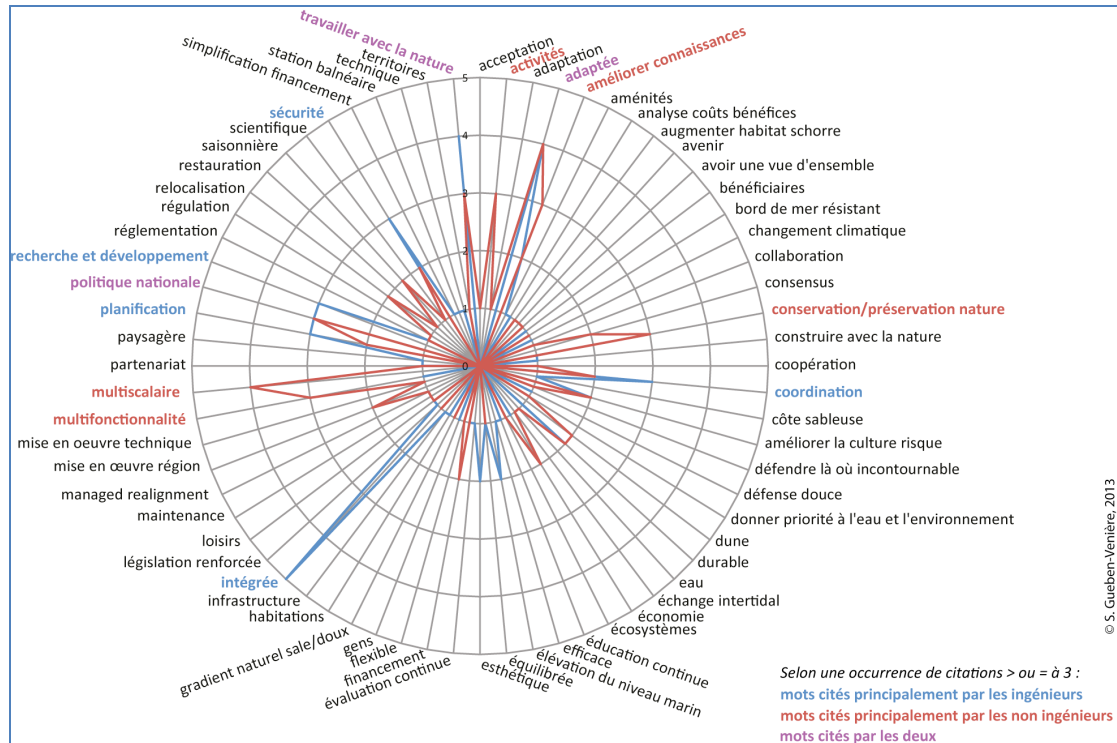


Figure 24 : Mots signifiants utilisés par les ingénieurs et les non ingénieurs pour décrire leur gestion du « littoral de demain ».

Le poids historique des ingénieurs du génie civil dans l'aménagement du littoral nord-ouest européen aurait pu laisser penser qu'une distinction serait vite établie entre le point de vue de ces derniers et des autres scientifiques. Mais, comme les non ingénieurs, les ingénieurs issus d'une formation en génie civil ont remis en cause l'approche exclusivement techniciste de la gestion du littoral. À la question de départ l'on peut donc répondre que oui, la notion d'environnement est de plus en plus présente dans les discours consacrés au littoral et à sa gestion et que par ailleurs il se dégage une forte homogénéité des discours entre ingénieurs et non ingénieurs.

Toutefois, une seconde lecture des entretiens laisse percevoir des discours plus ou moins « teintés » de vert, et apporte quelques nuances. Deux facteurs principaux semblent pouvoir expliquer ces variantes : un facteur générationnel entre ingénieurs et un facteur culturel.

II. ... plus ou moins teintée de vert toutefois

A. Une question de formation entre ingénieurs et non ingénieurs mais surtout de génération entre ingénieurs.

I. « *Make it difficult !* » / « *Keep it simple !* »

Bien que les enjeux environnementaux soient de plus en plus présents dans les discours des ingénieurs comme des non ingénieurs, l'existence de points de vue parfois nettement opposés entre les premiers et les seconds doit néanmoins être mentionnée. Un exemple probant, presque caricatural, a été relevé aux Pays-Bas. Un écologue néerlandais, pour illustrer sa conception d'une gestion idéale pour le « littoral de demain », a comparé deux exemples : l'extension du port de Rotterdam et celle du port d'Anvers en Belgique. Voici comment l'écologue néerlandais interprète l'évolution des deux ports :

« Le port de Rotterdam est un petit peu plus important maintenant que celui d'Anvers. Mais il y a cinquante ans, Rotterdam et Anvers avaient la même taille. Rotterdam était au milieu des Pays-Bas et personne d'autres que les Hollandais n'avait la charge de Rotterdam. Anvers évidemment, était proche de la frontière belgo-néerlandaise, et toute politique relative à l'Escaut et au développement du port devait être validée par les Néerlandais et les Belges, ce qui représentait une situation beaucoup plus difficile. Donc dans les années 1960, les deux ports avaient des plans d'élargissement des chenaux de navigation entre les ports et la mer pour laisser entrer sans difficultés de plus gros bateaux. Rotterdam avait des plans d'aménagement et les a réalisés. Anvers avait aussi des plans similaires et voulait creuser un chenal entre le port et l'embouchure de l'Escaut occidental qui devait donc traverser les Pays-Bas. Cela n'a pas été réalisé. Nous n'aurions plus rien de l'estuaire de l'Escaut occidental aujourd'hui si cette partie de l'estuaire n'avait pas appartenu à un pays différent de la partie aval car cela aurait été si facile à réaliser que cela aurait été fait. Et nous aurions perdu – parce que personne ne se préoccupait d'écologie dans les années 1960 – tous ces espaces « naturels » que nous avons aujourd'hui. Nous bénéficions encore aujourd'hui des ces espaces naturels ou semi-naturels seulement parce qu'il a été trop difficile politiquement de réaliser ces plans ambitieux dans les années 1960. Et cela n'a pas été une si mauvaise chose pour Anvers : cela a simplement modifié leur activité et ils ont toujours aujourd'hui une forte activité économique et réalisent de gros profits : ils ont simplement adapté leur activité. [...] C'est pourquoi je dis que la gestion côtière et estuarienne ne doit jamais être facile. Parce que quand c'est facile, vous faites des choses stupides que vous regrettez après coup. La zone de Rotterdam est..., c'est franchement laid ! C'est complètement détruit ! Et la zone d'Anvers aurait aussi été totalement détruite s'il n'y avait pas eu ces difficultés liées à la présence de la frontière entre le port et la mer. Et

donc les gens à l'époque ont dû se donner plus de mal pour reconsidérer l'organisation du port et essayer de trouver d'autres solutions à mettre en œuvre. Rien n'a jamais été pensé de cette façon pour le port de Rotterdam. Personne n'a jamais réellement réfléchi à l'intégration du port de Rotterdam dans l'estuaire, car il n'y a jamais eu personne pour s'opposer. Il y a donc une leçon à retenir ici. Mon point de vue c'est : « Rendons les choses difficiles ! Organisons l'opposition ! » Parce que la première solution n'est jamais la meilleure »⁴⁰.

Ainsi la présence de différentes autorités et d'enjeux variés, si elle est reconnue comme étant source de difficultés, est avant tout perçue comme un atout par cet acteur, obligeant, selon lui, chaque partie prenante à trouver une solution adaptée pour répondre à l'ensemble des contraintes économiques et sécuritaires mais aussi environnementales. Or, cette difficulté n'a pas été perçue de façon aussi positive par un ingénieur du génie civil travaillant pour un grand bureau d'ingénierie maritime :

« Le problème aux Pays-Bas c'est que nous avons un trop grand nombre d'autorités pour un même projet. Non seulement le Rijkswaterstaat doit décider, mais aussi la province, l'agence de l'eau, les municipalités et ensuite les associations environnementales. C'est trop compliqué. Le consensus est vraiment difficile à obtenir. Donc ma recette serait de dire : éliminez toutes ces autorités et n'en gardez qu'une qui superviserait toutes les autres, sinon il n'y a pas de fil rouge. En un mot : faisons simple ! »⁴¹

Si l'on replace cet extrait d'interview dans son contexte, il apparaît que l'ingénieur n'avait pas pour propos de considérer comme négligeables les aspects environnementaux,

⁴⁰ « The Harbour of Rotterdam is a little bit larger than it is now for Antwerp. But fifty years ago Rotterdam and Antwerp were two harbours at equal size. Rotterdam was in the middle of the Netherlands and it was no one else than the Dutch who were in charge of Rotterdam. Antwerp was of course near the border, and any policy related to the Schelde and the harbour development had to be agreed by the Netherlands and Belgium, which is a very much more difficult situation than Rotterdam. So in the sixties, all harbours had planned to dike big canals between the Harbour and the sea to have all the big ships entering without difficulties. Rotterdam had plans for that and Rotterdam realized the plans. Antwerp also had plans like that : they wanted to deep a canal from the Harbour to the mouth of the Western Schelde, but they had to cross the Netherlands, so it had not been realised. We wouldn't have nothing left of the Western Schelde today if this part would not have been a different country from this one because it would have been so easy to realise that it would had been realised. And we would have lost – because nobody was thinking about nature in the 60' – the all natural area that we have today. We only have this natural or semi natural area left because it was too difficult to realise all these ambitious plans in the 60'. And this has not been really bad for the harbour of Antwerp : it has simply shift their activities and they are still having a lot of economic activities and a lot of profits : they've just shifted it. [...] So I say : coastal and estuarian management should never be easy. Because when it's easy, you do stupid things that you regret afterwards. The Rotterdam area is... it's ugly ! It's destroyed ! And the Antwerp area would also has been destroyed if there wouldn't have been these difficulties due to the border. And so people have been thinking much harder in the Western Schelde area about how to reconsider the harbour and what other solutions there were and how to do it. And they have been ever thinking to Rotterdam area : they have never though seriously to the Rotterdam area. There is something to be learnt from that... my point of view is 'Make it difficult' ! Organise the opposition ! Because the first solution is never the best solution ».

⁴¹ « The problem in The Netherlands is that we have too many authorities that could say something about a project. Not only the Rijkswaterstaat has to decide, but also the province, the waterschap, the municipalities and then environmental associations. It's too complicated. The consensus is very difficult to get. So my recipe would be : weed out all these authorities and keep only one that would supervise the other ones, otherwise there is no red line. In a word : keep it simple ! »

mais considérait que ces derniers avaient considérablement compliqué les choses dans la mesure où ils n'étaient pas défendus, par exemple, par le même ministère que le *Rijkswaterstaat* en charge des aspects sécuritaires de la gestion côtière. Alors que l'écologue envisageait précisément cette complexité à l'origine même de la construction d'un fil directeur guidant l'élaboration d'un projet, l'ingénieur l'associait au contraire à l'impossibilité *in fine* d'établir le fil rouge d'un projet.

Des différences d'opinions sur la façon d'atteindre une gestion optimisée du littoral ont également été relevées entre un ingénieur en fin de carrière et un non ingénieur plus jeune travaillant pour l'antenne de Worthing de *Environment Agency*, sur la côte sud anglaise. Voici l'extrait d'un entretien mené conjointement auprès d'un géomorphologue du littoral et d'un *Chartered Engineer* en génie civil :

Propos tenus par le géomorphologue :

« Je trouve la côte sud de l'Angleterre fascinante, mais... Je pense que nous devons arrêter de protéger cette côte des inondations comme nous l'avons fait jusqu'à présent, parce que nous n'avons tout simplement pas l'argent requis, et que le littoral serait bien plus beau si nous n'avions pas construit toutes ces digues de mer »⁴²

Réponse de l'ingénieur :

« Je peux comprendre qu'il ne faille pas protéger tout et partout mais je me sens vraiment... les décisions et les processus pourraient être... vous savez bien... être plus simples et moins onéreux également ! Nous dépensons beaucoup d'argent à écrire des rapports à l'infini. Et ensuite vous avez les directives européennes qui viennent encore compliquer les choses ! (rires) »⁴³

L'ingénieur a voulu rebondir sur les propos de son collègue pour exprimer son point de vue. Cependant une certaine gêne se faisait sentir, conduisant l'enquêté à s'exprimer avec quelque hésitation finalement accompagnée d'un rire comme pour se dédouaner d'avoir énoncé de tels propos. Mais la gêne s'est aussi ressentie chez son collègue en écoutant l'avis de l'ingénieur : elle témoignait du décalage ressenti entre la divergence de points de vue et néanmoins le respect affiché à l'égard d'une expérience professionnelle très riche.

Pour clore l'entretien, un exercice individuel a été demandé aux deux enquêtés : donner par écrit, librement et sans se consulter afin d'éviter toute gêne ou censure supplémentaire,

⁴² « I find it (the south coast of the UK) fascinating but I can't say... I think we have to stop the way we used to protect the coast from flooding, cause we simply don't have the amount of money that would be required. And the coast would be much nicer if you wouldn't do all these works (the seawalls) »

⁴³ « I can understand you can't protect everywhere and everything but I do feel... decisions and processes could actually... you know... be more simple and less expensive too ! We put a lot of money in writing reports. And then you have European Directives that have complicated everything ! (laugh) »

cinq mots ou expressions pour qualifier un ingénieur travaillant à la gestion du littoral. En voici les résultats.

Point de vue du géomorphologue	Point de vue de l'ingénieur
Qualités dont devrait faire preuve un ingénieur en charge de la gestion côtière : 1. Être conscient des limites de son domaine 2. Être conscient des impacts à long terme de son travail et de ses solutions 3. Avoir de l'expérience 4. Utiliser la solution la plus raisonnable ⁴⁴	Quelles sont les questions qu'un ingénieur en charge de la gestion côtière doit se poser ? 1. Peut-on le construire ? 2. Peut-on l'entretenir ? 3. Cela répond-il à l'objectif ? 4. Cela peut-il être approuvé ? 5. Combien de temps cela va-t-il durer ? ⁴⁵

Il est évident que la question que l'un et l'autre n'avaient pas du tout le même objectif en tête. Le premier entrevoit les impacts à long terme, alors que le second se demande combien de temps va résister l'ouvrage mis en place (puisque la réflexion porte bien sur un ouvrage de défense contre la mer), partant du principe que la construction d'un ouvrage est la solution à envisager. Le géomorphologue pose d'emblée la question du cadre de réflexion alors que l'ingénieur n'envisage que la solution d'équipement, détaché de tout contexte ou milieu dans lequel l'ouvrage prendra place.

La différence d'opinion présentée ici peut *a priori* être reliée aux cursus différents de ces deux personnes, l'une formée en géomorphologie et spécialisée dans le littoral, l'autre formée en ingénierie civile et spécialisée dans les structures. Pourtant, un second facteur lié à l'année d'obtention du diplôme peut sans doute prendre part à l'explication de ces points de vue différents. En effet, le géomorphologue a été diplômé en 1994, tandis que l'ingénieur a été diplômé trente ans plus tôt. L'on est ainsi en droit de se demander s'il existerait, au-delà d'une explication liée à la différence de formation entre ingénieurs et non ingénieurs, un facteur générationnel que l'on pourrait retrouver entre ingénieurs mêmes, pour expliquer certaines nuances observées dans les discours consacrés au littoral et à sa gestion ?

2. Le poids du facteur générationnel entre ingénieurs

Une jeune ingénieur, diplômée de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État en 2006, affirmait à propos d'une éventuelle distinction de points de vue selon les formations des personnes avec lesquelles elle travaille :

⁴⁴ Aware of the limits of his field ; Aware of the long term impact of his work and his solutions ; experience ; use the most sensible solution

⁴⁵ Can you construct it ? ; Can you maintain it ? ; Will this fulfill its purpose ? ; Can it be approved ? ; How long will it last ?

« Même si on vient de différents horizons, on a plus ou moins le même apprentissage du littoral, le même historique, le même point de vue sur les choses et finalement on va tous dans le même sens. Quand on travaille sur le littoral on a tous en tête de ne pas reconduire les mêmes erreurs. Je pense en particulier à la mission Racine. On vit aujourd'hui avec les conséquences de la mission Racine à gérer, de surcroît quand on est dans un ministère : on a une responsabilité toute particulière vis-à-vis de la Mission Racine. ».

Selon cette jeune ingénieur, la recherche de solutions dites « vertes » ou encore « durables » de gestion côtière semble donc s'inscrire dans une évolution de pensée générale dont elle-même se sent proche et définissant des objectifs qui seraient désormais communs à tous, ingénieurs comme non ingénieurs.

De l'autre côté de la Manche, alors que l'entretien portait sur le genre de difficultés auxquelles étaient confrontés deux géomorphologues travaillant pour *Environment Agency*, la question des générations entre ingénieurs fût ouvertement posée : il semble beaucoup plus facile pour ces deux non ingénieurs d'échanger avec des ingénieurs de la nouvelle génération et au contraire parfois presque impossible de se comprendre avec des ingénieurs séniors :

« Je pense que l'on vient juste d'entamer un grand changement. Nous avons il y a encore quelques années d'anciens ingénieurs qui étaient là depuis très longtemps, avant même que l'Agence de l'Environnement n'existe, lorsque cela s'appelait encore Rivers Board. Beaucoup d'entre eux sont partis à la suite de restrictions budgétaires ce qui fait que l'ancienne génération d'ingénieurs est aujourd'hui quasiment partie et c'est vrai qu'il est beaucoup plus facile de communiquer avec la nouvelle génération »⁴⁶.

« Depuis que j'ai rejoint l'Agence de l'Environnement, la solution de gestion consistant à ne pas nécessairement défendre ou construire quelque chose est devenue beaucoup plus commune dans les discussions. Quand j'ai été embauchée en 1999, c'était tout à fait nouveau et la perplexité de l'ancienne génération d'ingénieurs était bien palpable : « Pourquoi faites-vous ça ?? Dresser simplement une belle grande digue et ce sera bon ! »⁴⁷

⁴⁶ « We've just gone through quite a big change I think. Because we had the older, old men usually, engineers who had been here for a very long time before the EA when it was still the River's Board. Many have recently left because of cuts, and so the older generation of engineers has gone, and it is true that it is much more easy to talk with the new generation ».

⁴⁷ « And since I joined, as well, the issue of not necessarily defending, not necessarily building something, has become much more common to discuss. When I joined in 1999, it was very very new, and their surprise was there : « What are you doing that for ? Put some nice walls up and that will be okay ! »

Ces extraits d'entretien laissent penser que l'évolution de la formation des ingénieurs pourrait en partie expliquer les nouvelles pratiques de gestion plus « vertes » constatées et décrites dans le précédent chapitre. L'une des deux géomorphologues expliquait ainsi :

« Lorsque je suis arrivée à l'Agence de l'Environnement au début des années 2000, seules deux personnes avaient un bagage en modélisation hydrodynamique côtière. [...] L'Agence a toujours eu de bonnes compétences techniques en matière fluviale, mais tout restait à faire pour le domaine littoral. Et traditionnellement, les ingénieurs de l'époque n'avaient pas de connaissances particulières sur le fonctionnement fluvial et littoral. Ils n'avaient des connaissances que sur les structures et les dimensionnements d'ouvrages etc. Il me semble que cela a évolué et que les ingénieurs de la nouvelle génération sont plus ouverts à cette nouvelle vision des choses »⁴⁸

Le décalage générationnel entre ingénieurs a donc été mentionné par la nouvelle génération d'ingénieurs comme par des non ingénieurs pour expliquer les nuances de point de vue sur l'orientation nouvelle à donner à la gestion côtière. Ce décalage reste par ailleurs une difficulté importante pour la jeune génération : s'il faut s'employer à convaincre les « anciens ingénieurs » en interne, il faut également leur demander d'être convaincus eux-mêmes pour mettre en place tout un travail de communication auprès des populations locales sur cette nouvelle feuille de route. Or la communication constituait également une démarche nouvelle pour ces ingénieurs de l'ancienne génération.

Le décalage de vision entre générations semble moins marqué aux Pays-Bas qu'en France ou en Angleterre. Ceci s'explique sans doute par le fait que ce pays ait été précurseur dans de nombreux domaines de la gestion côtière et a mis en œuvre dès 1955 un plan national de défense contre la mer. Sur un territoire aussi restreint et densément peuplé que celui des Pays-Bas, les conséquences négatives de ce plan, en termes écologiques et environnementaux, ont été plus rapidement mises en évidence qu'elles l'auraient sans doute été ailleurs. Ainsi, bien que rien n'interdise la création de nouveaux polders, cette solution de gestion ne viendrait aujourd'hui plus à l'esprit de personne, ingénieur ou non, tant les problèmes actuels de gestion de l'eau du pays sont directement reliés à la subsidence accélérée par les terres poldérisées et drainées. Une ingénieure du génie civil, diplômée de l'université technologique de Delft, illustre ce propos par une anecdote tout à fait révélatrice d'une autre époque. En 2006, un vaste projet d'aménagement est lancé par le *Rijkswaterstaat*. L'objectif est de trouver une solution afin de créer un espace supplémentaire pouvant accueillir 40 000

⁴⁸ « When I joined the Environment Agency in 1999 there were only two people who had a background in any kind of coastal hydrodynamic modelling. (...) So the Environment Agency always had a lot of good expertise on the rivers but we just needed to build our capacity on the coast. And engineers, traditionally, don't necessarily know about the coast or the river. They just knew about structures, how it must stand up to this, how it must withstand this level of flooding, wave activity or whatever... I feel like it has evolved and the new generation of engineers is more open to this new way of thinking ».

nouvelles maisons au devant d'Almere, ville nouvelle établie sur un polder dont les travaux de transformation ont débuté en 1976. Pour sensibiliser la population et commencer une campagne de communication sur le projet, le *Rijkswaterstaat* ouvre une compétition d'idées. Vingt-quatre propositions ont été reçues puis étudiées. Parmi elles, celle d'un vieux monsieur de 80 ans, ancien agriculteur, qui prenait modèle sur les ingénieurs de son époque, et proposait tout simplement la création d'un polder ! Voici la réaction de l'ingénieur ayant reçu cette proposition :

« Cette idée était vraiment très drôle pour nous ! Évidemment, construire un polder est plus rapide et moins onéreux, mais vous devez avoir une vision à long terme des solutions, et les polders n'en sont alors certainement pas une. Personne chez Deltares ou au Rijkswaterstaat n'aurait pensé à ça ! Personne ne parle plus de polders. C'est juste hors sujet ! »⁴⁹

Preuve en est : sur vingt-quatre propositions d'idées de la population, seule une envisageait la poldérisation comme solution, et avait été proposée par une autre génération...

B. L'intégration de la dimension environnementale : évidence à l'échelle nationale, contrainte à l'échelle locale, ou la particularité française
--

Les nuances apportées par les ingénieurs sur la nécessité d'intégrer des enjeux environnementaux à tout projet de gestion côtière semblent par ailleurs dépendre de l'échelle spatiale à laquelle ces derniers sont impliqués. Ceci est particulièrement prégnant en France. En effet, plus les acteurs travaillent à distance du terrain et ne sont pas quotidiennement confrontés aux conflits d'usages, plus il leur semble incontournable de devoir intégrer une dimension environnementale à leur réflexion. Les discours d'ingénieurs rattachés au niveau central du gouvernement vont bien dans ce sens :

« L'intégration d'enjeux environnementaux dès le début de la réflexion n'est pas encore complètement rentrée dans les mœurs. On a encore du mal à admettre que dans le coût de l'opération on intègre ce que l'on appelle encore d'ailleurs des « surcoûts environnementaux ». Se payer un paysagiste ou un écologue, soit pour venir inventorier soit pour surveiller le fait que la pelleteuse ne détruise pas telle ou telle plante, est quelque chose que peu de maîtres d'ouvrage, à part le Conservatoire du littoral dont c'est le métier, seront spontanément enclins à faire, parce qu'ils vivent ceci comme une complexité par rapport à ce qui se faisait avant et non comme une nécessité ».

⁴⁹ « This idea was really funny for us ! Of course creating a polder is faster and less expensive, but you must have a long term vision, and polders are then not a solution... Nobody at Deltares or at the Rijkswaterstaat has it in mind set. Nobody talks about polders. It is just out of question !! »

Pourtant, les choses ne sont pas considérées aussi facilement par les collectivités territoriales. Voici un extrait d'entretien mené auprès d'un ingénieur travaillant à l'échelon départemental :

« Cela dépend de quel côté on se place. Est-ce qu'on se place du côté des personnes à protéger, ou est-ce qu'on se place du côté scientifique et environnementaliste de la lagune ? C'est très intéressant, certes. Mais derrière la lagune il y a des personnes à protéger. [...] Or mon métier, c'est de mener à bien l'étude pour que l'on mette tout en œuvre pour protéger idéalement ou au mieux les secteurs habités et éviter qu'il y ait de nouvelles entrées d'eau. Ce n'est pas d'observer le développement de la faune et de la flore en fonction de l'évolution du cordon dunaire. En somme, tant que les variantes de la solution envisagée pour mieux prendre en compte les enjeux environnementaux du site ne diminuent pas son efficacité pour protéger les personnes et les biens, cela ne me pose pas de problème ».

Il est difficile de généraliser des discours tout comme de mettre en regard les points de vue de deux personnes qui, en l'occurrence, n'avaient pas de projet en commun. Néanmoins, ce dernier extrait montre que, pour cet ingénieur, l'intégration d'enjeux environnementaux reste perçue comme une réelle contrainte, une obligation contre laquelle on ne peut rien. Ceci ne veut pas dire que l'ingénieur en question soit contre la prise en compte de ces enjeux ou y soit insensible, cela veut dire que le facteur environnemental est perçu comme un supplément à prendre en compte et non comme une démarche pouvant aussi conduire à des modes de gestion renouvelée des risques littoraux, efficaces à long terme.

Ce constat s'est également remarqué au sujet de la relocalisation, mode de gestion encouragé en France par la *Stratégie nationale de gestion du trait de côte* de 2012 et consistant à prendre en compte, non pas uniquement le trait de côte comme le laisserait entendre le nom de cette stratégie, mais une zone littorale comprenant l'avant et l'arrière-littoral. Plusieurs ingénieurs travaillant à l'échelon national, ont participé à l'élaboration de cette stratégie. Voici deux extraits d'entretien menés auprès de ces ingénieurs :

« On sait aujourd'hui que la mer monte et que l'érosion des côtes va s'accroître. Des zones vont être submergées provisoirement ou définitivement, ou encore érodées. Partant de là, on avait besoin d'une stratégie nationale, car avant la stratégie nationale de 2012, il n'y avait pas vraiment de réflexion à l'échelle nationale et sur le long terme. Or la stratégie nationale s'inscrit dans le long terme, pour l'horizon 2100, et a pour cœur de réflexion la relocalisation. C'est une bonne chose et une chose nécessaire. On ne pourra pas continuer à protéger éternellement les populations partout. [...] Mais il va falloir du temps pour que cela rentre dans les esprits. C'est pour ça qu'on a lancé cet appel à projets, pour mettre en pratique le concept de relocalisation encouragé par la stratégie nationale »

« Au lieu de parler de recul stratégique, la notion de relocalisation permet de travailler plus globalement sur l'arrière-littoral et non de se focaliser sur le front de mer. Elle permet en somme de voir cette démarche comme une opportunité nouvelle de développement et non comme une contrainte »

Voici comment cette notion de relocalisation est perçue par les ingénieurs travaillant à l'échelon départemental et ainsi directement confrontés à la mise en œuvre de cette stratégie sur le terrain :

« Très concrètement, enlever des activités économiques pour les relocaliser dans l'arrière-littoral, on voit bien aujourd'hui que c'est une perte de ressources... »

« À la suite de Xynthia, l'État a reconstruit tout un système de plans de submersion, de circulaires, de gouvernance, programmation financière enfin bref, tout le système a été reconçu. Mais pas dans l'optique de faire des ouvrages de protection. Or, du point de vue du terrain, il faut faire des ouvrages de protection. On a été submergé, donc il faut renforcer les ouvrages de protection, voire les surélever »

« Les grands plans généraux, c'est sympa, mais il faut bien être en connexion avec le terrain. Ils auront plutôt tendance à dire qu'il faut une vision d'ensemble, un recul stratégique. Pour la plaine de Luçon qui est agricole est posée la question de savoir si l'on doit vraiment maintenir les digues ? Alors quand on est à Paris, c'est facile de dire ça, mais quand on est les deux pieds dedans à dire aux agriculteurs : 'les gars, ça fait 150 ans que vous travaillez ici, mais maintenant vous dégarez, on ne mettra pas un euro !', alors c'est quand même autre chose. Il y a une réalité socio-économique qui n'est pas du tout prise en compte par les gens du ministère qui établissent ces plans ».

L'ensemble de ces extraits montre qu'une distorsion existe entre les directives nationales proposant une vision à long terme, et leur mise en œuvre concrète sur le terrain. Les ingénieurs travaillant à un échelon plus local semblent démunis face à la marche à suivre.

De telles différences de propos entre un échelon national et un échelon plus local n'ont pas été observées en Angleterre ni aux Pays-Bas. Il ressort ainsi une certaine homogénéité des discours prononcés par les ingénieurs anglais et néerlandais, quelle que soit leur échelle d'intervention. Ce constat a incité à examiner de plus près le poids des influences culturelles comme autre facteur explicatif des nuances perçues dans les discours consacrés au littoral.

C. Le poids des influences culturelles

1. Des discours nationaux marqués

Lorsque la question d'une gestion idéale pour le « littoral de demain » a été posée, trois discours, directement liés aux influences culturelles sont ressortis. Il a cette fois été possible de distinguer un discours néerlandais, un discours anglais et un discours français.

a. Une pratique de gestion du littoral proche de l'idéal aux Pays-Bas

Aux Pays-Bas plusieurs acteurs, ingénieurs ou non, ont expliqué que la stratégie nationale comme les modes de gestion mis en œuvre actuellement allaient, selon eux dans le sens d'une gestion optimisée et pouvaient presque être qualifiés d'idéaux.

« Je pense que la façon dont est menée la gestion du littoral en Hollande est assez logique.[...] Ce qui a été fait jusqu'à présent et surtout au cours des dernières décennies, je ne dirais pas que c'est idéal, mais enfin, c'est déjà pas trop mal et l'on se rapproche d'une gestion optimisée du littoral : l'État a une vision à long terme des choses et émet des normes nationales, le Rijkswaterstaat contrôle du point de vue technique les travaux réalisés par les waterschappen et les provinces, en accord avec la sécurité du littoral, s'occupent de l'aménagement du territoire, ce qui me semble logique car cet aspect relève de fonctions sociales et il est donc normal que les utilisateurs ou les habitants soient les premiers concernés dans les décisions prises. [...] Tout ceci me semble cohérent. Au regard des enjeux néerlandais, et du volume de sédiment disponible en mer du Nord, il me semble que les Pays-Bas ont trouvé un équilibre de gestion à la fois solide et dynamique, en constante évolution. »⁵⁰

« Pour moi la concertation et la pluridisciplinarité sont les clés d'une gestion optimisée du littoral. Or ces deux aspects existent bel et bien aux Pays-Bas. »⁵¹

« En mettant en œuvre les études d'impact environnemental et les analyses coûts bénéfiques, je dirais que nous sommes proches d'une gestion idéale du littoral. »⁵².

« Si l'on considère qu'une gestion idéale du littoral doit prendre en compte les mouvements naturels littoraux, je dirais que nous en sommes proches. »⁵³

⁵⁰ Extrait d'entretien d'un non ingénieur néerlandais

⁵¹ « According to me, dialogue and multidisciplinary are both keys of an optimized coastal management. Yet these two aspects exist well and truly in the Netherlands », Extrait d'entretien d'un autre non ingénieur néerlandais

⁵² « We are closed to an ideal coastal management by making EIA and ACB », Extrait d'entretien d'un ingénieur néerlandais

⁵³ « If you consider that an ideal coastal management should consider the natural movement of the coast, I would say that we are close to it. », Extrait d'entretien d'une ingénieure néerlandaise

Ainsi, un discours positif assez fort se dégage chez les Néerlandais. Les quelques remarques concernant de possibles améliorations relèvent d'une recherche de flexibilité, mais globalement, selon les acteurs rencontrés, l'organisation de la gestion côtière aux Pays-Bas semble répondre aux enjeux néerlandais tant sécuritaires qu'environnementaux et permettre une vision à long terme.

b. La gestion actuelle en bonne voie pour devenir idéale en Angleterre

En Angleterre, ce discours positif a également été remarqué. Sans aller jusqu'à affirmer que leur organisation était déjà optimale, les Anglais interviewés, ingénieurs comme non ingénieurs, ont exprimé une certaine satisfaction du schéma de gestion qui se met progressivement en place depuis le milieu des années 1990. Le rôle des *Coastal Groups* et des *Shoreline Management Plans* a été mentionné de façon très positive :

*« Les Shoreline Management Plans ont apporté un partenariat très fort. Donc je pense qu'ils ont été très positifs parce que dans la même pièce étaient réunis des élus, des politiciens, mais aussi des aménageurs et des ingénieurs. Et tous ensemble nous prenons des décisions raisonnables, équilibrées. »*⁵⁴

*« La création des Coastal Groups est une très bonne chose. Les Coastal Groups peuvent avoir un rôle pour fournir un vue stratégique parce qu'ils sont plus que des groupes d'ingénieurs. Ils sont pluridisciplinaires. »*⁵⁵

Les SMPs (*Shoreline Management Plans*) sont des plans régionaux de gestion des processus côtiers. Lancés par le gouvernement au milieu des années 1990, les SMPs ont marqué un tournant dans la politique de gestion côtière anglaise et galloise. Non plus calqués sur des limites administratives, ces plans ont pris pour échelle de gestion celle des cellules sédimentaires. Ces dernières « *correspondent à un compartiment littoral contenant un cycle complet de sédimentation incluant les sources de production sédimentaire, la mobilisation des sédiments, leur transport et enfin leur dépôt* » (EUROSION, 2004, p. 32). Autrement dit, à chaque compartiment littoral a été attribué un plan de gestion dans le but de prendre en compte les effets de rétroaction d'un ouvrage de protection côtière et d'éviter ainsi une aggravation des phénomènes d'érosion en aval de la dérive littorale ou de bloquer les transports sédimentaires. Au-delà de la prise en compte de l'aspect dynamique du littoral, la première génération de SPMs avait pour objectif de promouvoir une gestion dite intégrée, tenant compte de plusieurs enjeux mais aussi de l'ensemble des acteurs présents (Bray *et al.*, 1995). En 1994, le MAFF (*Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*), ministère en charge à l'époque de la promotion de ces plans, a dressé la liste des informations que devaient contenir les SMPs. Celle-ci mentionne des données relatives aux processus côtiers, à

⁵⁴ « *The Shoreline management Plans brought together a very strong patnership. So I think that is very positive because in the room you've got elected members, like politicians, but also planners and engineers. So together we are making a balance decision.* » Extrait d'entretien d'un non ingénieur anglais

⁵⁵ « *The creation of coastal groups is a very good thing. Coastal groups can have a role to provide a strategic view because they are more than engineering groups. They are multidisciplinary.* » Extrait d'entretien d'un ingénieur anglais

l'évolution du développement socio-économique de la région concernée, à l'environnement naturel, à l'usage du sol, à l'identification des risques littoraux présents etc., et montre bien la volonté de mettre en œuvre une approche holistique de la gestion du littoral.

Par ailleurs, afin de mettre ces plans de gestion en œuvre, des *Coastal Groups* ont été formés sur la base du volontariat, réunissant un panel d'acteurs influents, principalement des gestionnaires du littoral provenant des autorités locales, des autorités portuaires et de l'Agence de l'Environnement. D'autres partenaires ont généralement été associés tels *Natural England* ou *English Heritage*⁵⁶. La carte 24 présente la répartition des SMPs (23), des *Coastal Groups*(8) et des cellules sédimentaires (11). L'intérêt de cette nouvelle organisation est particulièrement visible pour l'estuaire de la Severn par exemple : cet estuaire, pourtant à cheval sur trois entités administratives (Wales, South West Region et Midlands Region), appartient à un seul SPM et au seul *Coastal Group* de la Severn Estuary.

Depuis le début des années 2000, une seconde génération de SMPs s'est progressivement mise en place. Celle-ci visait à améliorer les premières orientations décrites *supra* en comblant les manques en matière de communication et d'engagement de l'ensemble des acteurs dans le processus décisionnel et en offrant une vision à long terme tenant compte de l'élévation du niveau marin. Peter French mentionne le manque d'implication des populations locales, à l'origine, bien souvent, de l'échec de certains SMPs : « *Les plans montrent différents degrés d'efficacité, en grande partie à cause de la variation avec laquelle le public s'empresse de les accepter et de suivre leur recommandations* »⁵⁷ (French, 2004, p. 118). Ce point a été mentionné à plusieurs reprises, là encore par des ingénieurs comme des non ingénieurs :

« Nous devrions dialoguer avec les communes et communautés de communes plus tôt ».⁵⁸

« Le principal objectif maintenant c'est la consultation du public : [...] nous devons sérieusement commencer à parler aux gens du long terme ».⁵⁹

« L'un des problèmes majeurs que nous rencontrons est la compréhension de l'évolution de la gestion par le public : nous devons encore améliorer ce point ».⁶⁰

« Il s'agit d'amener la population à comprendre que nous allons devoir nous adapter et que nous ne serons pas en mesure de protéger toute la côte par des digues de mer. Et pour ce faire nous devrions donner plus de pouvoir aux Coastal Groups dans la prise de décision ».⁶¹

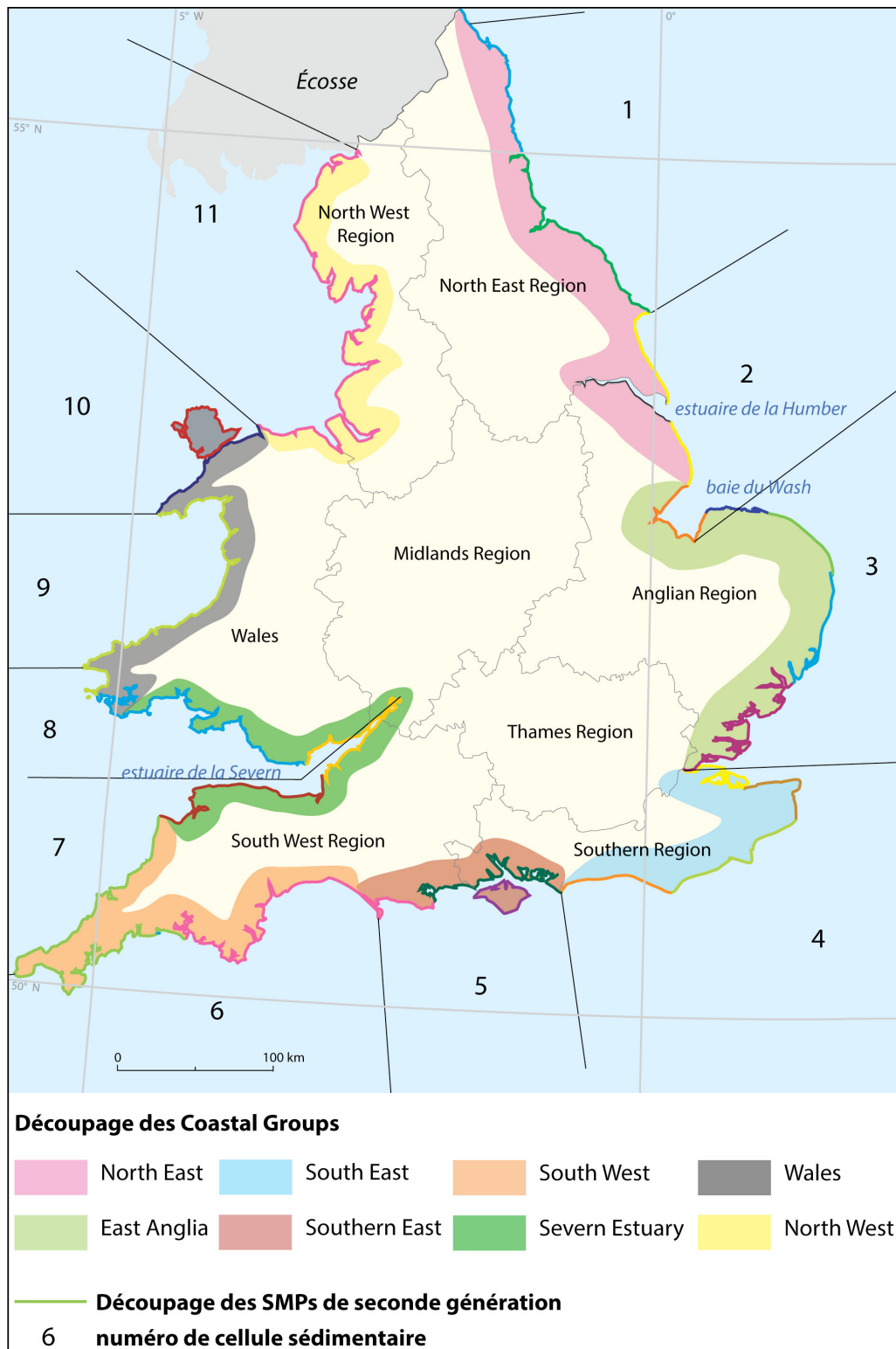
⁵⁶ <http://www.scopac.org.uk/coastal-groups.html>

⁵⁷ « *Plans worked with different degrees of effectiveness, largely because of variation in the public's willingness to accept them and to follow their recommendations.* »

⁵⁸ « *We should engaging with communities earlier. The consultation with the public must be transparent and taken into account* ». Extrait d'entretien d'un non ingénieur

⁵⁹ « *The main objectif now is public consultation : [...] we serously need to start to talk to people about the long term* » Extrait d'entretien d'un non ingénieur

⁶⁰ « *One of the main problems we can encounter is the public understanding about the évolution of coastal management : we have to improve that a lot* ». Extrait d'entretien d'un non ingénieur



Carte 24 : localisation des Coastal Groups, des SMPs de seconde génération et des cellules sédimentaires. *Source* : EA Strategic Overview, 2008 et 2009. *Réalisation* : S. Gueben-Venière et G. Decroix, 2013

⁶¹ « It's about getting communities, the population to understand that we'll have to adapt and we won't be able to protect the whole coast with sea walls. Moreover we should give Coastal Groups more power in decision making ». Extrait d'entretien d'un ingénieur

Enfin, un autre facteur d'amélioration est ressorti dans les discours anglais : la nécessité de prolonger l'effort de pluridisciplinarité d'ores et déjà engagé.

*« Avant que je prenne ma retraite, mon équipe comprenait un aménageur, un directeur de projet, des propriétaires, moi en tant qu'ingénieur et un autre ingénieur. Donc nous avons un mélange de compétences et je voudrais voir ce mélange dans les Coastal Groups. Les écologistes, les aménageurs et les ingénieurs devraient plus travailler ensemble ».*⁶²

*« Nous avons les SMPs mais en réalité nous n'avons pas encore assez de lien entre ces plans de gestion et la réalisation concrète des projets. Je pense que les SMPs n'ont pas réellement le pouvoir et l'influence qu'ils devraient avoir ».*⁶³

Ainsi l'ensemble des entretiens menés en Angleterre montre que la question de la gestion optimisée du littoral ne porte plus sur une dichotomie entre défense dite « dure » longtemps imputée aux ingénieurs et défense dite « souple » généralement attribuée aux environmentalistes, mais bien désormais sur l'amélioration de la gestion dite « intégrée » du littoral et déjà engagée. Les ingénieurs comme les non ingénieurs anglais rencontrés défendent désormais une vision partagée de la gestion du littoral, définitivement liée à l'intégration d'enjeux environnementaux.

c. Une gestion optimisée du littoral français qui semble loin d'être atteinte

Côté français, le discours s'est révélé bien plus critique sur le fonctionnement actuel de la gestion du littoral, et le chemin restant à parcourir pour atteindre une gestion optimisée, bien plus long. Outre les efforts à faire sur l'adoption d'une échelle de gestion adéquate, un problème général d'organisation a été pointé du doigt par l'ensemble des acteurs rencontrés, ingénieurs ou non. Ce problème d'organisation et d'articulation des multiples plans, réglementations, directives etc. a été mentionné de façon spontanée par plusieurs acteurs, comme s'il s'agissait d'une chose entendue :

« Même si je caricature un peu, je ne pense pas être loin de la vérité en disant qu'il n'y a pas deux personnes en France qui comprennent de la même façon comment tout cela s'articule. »

Un autre ingénieur déclarait :

« Je ne pense pas qu'il soit possible de faire un schéma général, valable pour toute la France, du fonctionnement de la gestion du littoral ».

⁶² « Before I retired, my team had a planner, a projectmanager, properties consultant, me as an engineer and another engineer. So we had a mix and I would like to see that mix on a coastal group. It should be ecologists, planners, engineers working together ». Extrait d'entretien d'un ingénieur

⁶³ « We've got shoreline management planning but actually haven't got good link between SMPs and doing things and plans and projects. I think the SMPs don't really have the power and influence they should have ». Extrait d'entretien d'un ingénieur.

Cette « désorganisation » serait due, selon les acteurs rencontrés, à la décentralisation. Sans remettre en cause cette décision politique prise il y a plus de vingt ans, ingénieurs et non ingénieurs, quelle que soit leur échelle d'intervention, ont fait part de sa difficile mise en œuvre et des conséquences négatives qu'elle a impliquées durant les deux dernières décennies en matière de responsabilités :

« Ce qu'il manque aujourd'hui, c'est un chef de file bien identifié »⁶⁴

« L'État s'est déchargé de la sécurité civile en terme de maîtrise d'ouvrage, mais il est resté là pour le financement »⁶⁵

« La décentralisation semble être aujourd'hui un problème non résolu. La logique de décentralisation a été poussée à l'extrême ce qui fait qu'on se retrouve face à un problème majeur : qui contrôle ? »⁶⁶

« Le problème numéro 1 en France, c'est la coordination entre l'échelle nationale et l'échelle locale. La relocalisation par exemple est socialement difficile. Elle a été officialisée par l'État en 2012, mais c'est aussi l'État finalement qui donne les autorisations de construire. Il y a donc un réel besoin de clarification des rôles »⁶⁷

« Il existe actuellement un dialogue de sourd entre l'État et les collectivités. L'État est responsable de la sécurité civile, mais s'est progressivement désengagé au profit des collectivités, à qui l'État impose un certain nombre d'obstacles et de contraintes pour pouvoir mener la mission qui relevait initialement de l'État ! C'est un cercle vicieux... »⁶⁸

« Il est illusoire de penser que les communes peuvent être à même de prendre des décisions en matière de gestion du littoral tout simplement parce que cela ne va pas dans le sens de leur intérêt premier qui est de se développer économiquement. C'est pour ça que je pense que c'est à l'État de contrôler »⁶⁹

La situation est donc plus contrastée qu'aux Pays-Bas ou en Angleterre. Certes l'enjeu vital que constitue la gestion du littoral aux Pays-Bas a très tôt incité ce pays à organiser et articuler de façon rigoureuse stratégie nationale, plan de gestion et contrôle des travaux effectués – les premières agences de l'eau connues sous le nom de *waterschappen* sont nées dès le XIII^e siècle, faisant de l'exemple néerlandais un modèle sans doute difficilement transposable. Cependant, les évolutions ayant abouti à l'organisation actuelle de la gestion

⁶⁴ Extrait d'entretien d'un juriste travaillant à l'échelon national.

⁶⁵ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant à l'échelon départemental

⁶⁶ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant à l'échelon départemental.

⁶⁷ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant pour un bureau privé d'ingénierie.

⁶⁸ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant à l'échelon départemental.

⁶⁹ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant pour un service technique central à compétence nationale.

côtière en Angleterre et au pays de Galles, dont les enjeux sont certainement plus proches des enjeux français, sont intéressantes. En l'absence de consensus à l'issue d'une concertation avec l'ensemble des acteurs concernés par un projet de gestion, l'Agence de l'Environnement est la seule autorité pouvant arbitrer de façon directe et ainsi avoir le dernier mot. En France, la décision revient en dernier ressort aux élus. Bien que ces derniers soient orientés par les conditions de financement des plans de gestion – l'État par exemple ne finance la rehausse des ouvrages que si les communes se sont préalablement dotées d'un PAPI (Programme d'Action et de Prévention des Inondations) – les élus conservent un très fort pouvoir de décision sur les solutions de gestion côtière à mettre en œuvre.

Par ailleurs, si la fusion de certains services de l'État, et par exemple des ministères de l'Équipement et de l'Environnement qui s'est opérée en 2007, a été perçue de façon générale comme une chose nécessaire par les acteurs rencontrés pour permettre la mise en œuvre d'une gestion dite intégrée du littoral, celle-ci s'est aussi accompagnée de restrictions budgétaires importantes conduisant à une concurrence entre services plus qu'à la mise en valeur de leur complémentarité. Voici ce qu'expliquait un ingénieur à ce propos :

« La fusion de ces deux ministères a été une bonne chose pour que les gens se parlent et coopèrent. Mais concrètement cela masque une réduction des effectifs, ce qui fait que c'est le dernier qui reste en place qui a le dernier mot : si c'est quelqu'un qui est issu d'une filière plus ou moins environnementale, on aura plus ou moins cette couleur dans les décisions prises et une autre ailleurs... ».

De plus la fusion n'est aujourd'hui que partielle et les problèmes de gestion des risques érosion et submersion marine sont traités de façon sectorielle au sein du ministère. Ainsi les objectifs de sensibilisation à la relocalisation mis en avant par la Stratégie Nationale et ceux mis en avant par le Plan Submersion Rapide semblent contradictoires pour un grand nombre d'acteurs, quelle que soit leur formation ou l'échelle nationale, régionale ou départementale à laquelle ils interviennent. Voici quelques extraits d'entretiens illustrant ce propos :

« La mise en œuvre du Plan Submersion Rapide donne lieu à des subventions destinées grossièrement à la construction et à l'entretien d'ouvrages pour lutter contre les inondations fluviales et les submersions marines. D'un autre côté la Stratégie Nationale vise plutôt à gérer des problèmes d'érosion à moyenne échéance ou à long terme. Cela correspond à la distinction qui est faite au sein du ministère pour que les interlocuteurs identifient bien les choses. Mais concrètement je pense qu'il y a une vraie dichotomie entre, d'un côté, la façon dont on traite la submersion marine et de l'autre, la façon dont on parle d'érosion : on essaie de faire en sorte que tout aille bien mais on a en parallèle deux mondes différents et personne ne se parle. »⁷⁰

⁷⁰ Extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant à l'échelle nationale

Lors d'un autre entretien effectué auprès d'un ingénieur intervenant à l'échelle régionale, le premier discours rodé sur le fonctionnement actuel des services de l'État et leurs attributions respectives a rapidement mis en exergue des doutes sur l'efficacité d'une telle organisation :

Ma question : « Comment comprenez-vous l'existence et l'articulation de la Stratégie Nationale qui aborde le sujet de la relocalisation et la mise en œuvre du Plan Submersion Rapide qui prône le renforcement et le rehaussement presque systématique des digues ? N'y voyez-vous pas une contradiction ? »

Réponse : « Non, pour moi c'est complémentaire. Finalement, pour faire simple, il y a deux cas de figures sur le littoral, qui correspondent à deux types de risques : le risque submersion marine et le risque érosion. [...] Le premier type de risque concerne principalement les côtes basses endiguées. [...] Le second type de risque correspond aux secteurs de plages et de dunes : ces espaces sont soumis à un risque d'érosion mais pas nécessairement au risque submersion. C'est d'ailleurs très clair puisqu'il existe deux services référents au niveau de l'administration centrale : un service référent sur l'érosion du trait de côte qui dépend de la DEB (Direction de l'Eau et de la Biodiversité, département de la Direction Générale de l'aménagement du Logement et de la Nature) et un service référent pour le Plan Submersion Rapide qui est la Direction Générale de la Prévention des Risques. Il y a donc bien deux logiques. [...] »

Ma question : « Mais alors concrètement comment ça se passe quand on est simultanément confronté à un problème d'érosion et de submersion marine ? En termes de financement, est-ce que cette distinction ne complique pas les choses ? »

« Si, c'est très compliqué parce qu'effectivement dans ce que je viens de dire, je n'ai pas traité l'interface, et l'interface est toujours compliquée à gérer. Concrètement on réagit au cas par cas. »

Ma question : « Si l'on prend l'exemple de la lagune de la Belle Henriette : la digue de second rang de protection va être financée par le Plan Submersion Rapide, mais sait-on comment financer le rechargement de la dune pour se protéger de l'érosion ? »

Réponse : « Non, je ne sais pas encore. Et ça fait partie des questions qui restent à régler. La question n'est pas tranchée et la solution sera trouvée au sein des comités qui réunissent toutes les parties prenantes autour de la table. »⁷¹

⁷¹ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur travaillant à l'échelon régional

La difficulté à mettre en œuvre une gestion harmonieuse du littoral s'est donc révélée plus marquée en France qu'en Angleterre. L'abatement de la tempête Xynthia en février 2010 et ses lourdes conséquences ont été très présents dans les discours. Ainsi par exemple, plusieurs personnes interviewées, pour livrer leur opinion plus librement, ont demandé à ce que l'enregistrement des entretiens soit coupé. Cet événement, qui a engagé un procès toujours en cours a, de toute évidence, créé un climat de tensions entre les différents acteurs responsables de la gestion côtière et exacerbé les difficultés de mise en œuvre.

2. Des tendances nationales affirmées par l'analyse des graphes associatifs

La lecture des graphes associatifs bruts, sans traitement préalable, fait également ressortir le poids des influences culturelles. Voici trois exemples de graphes remplis par des acteurs anglais, néerlandais et français.

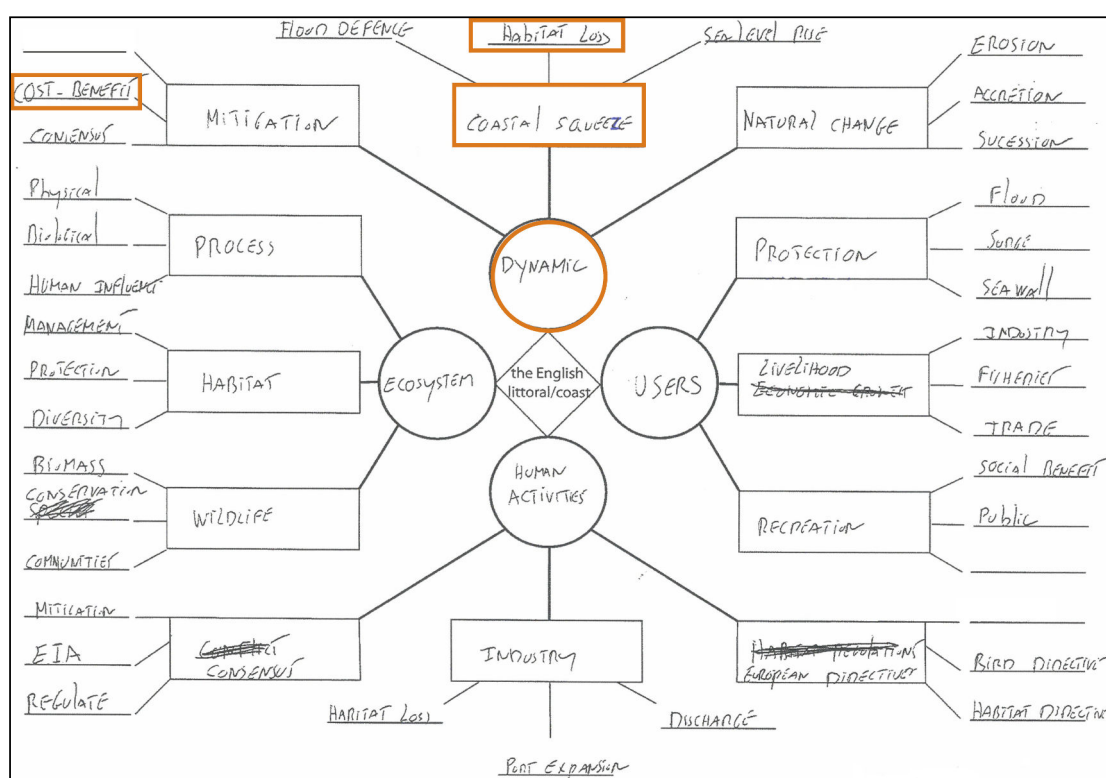


Figure 25 a : Graphe associatif réalisé par un Anglais.

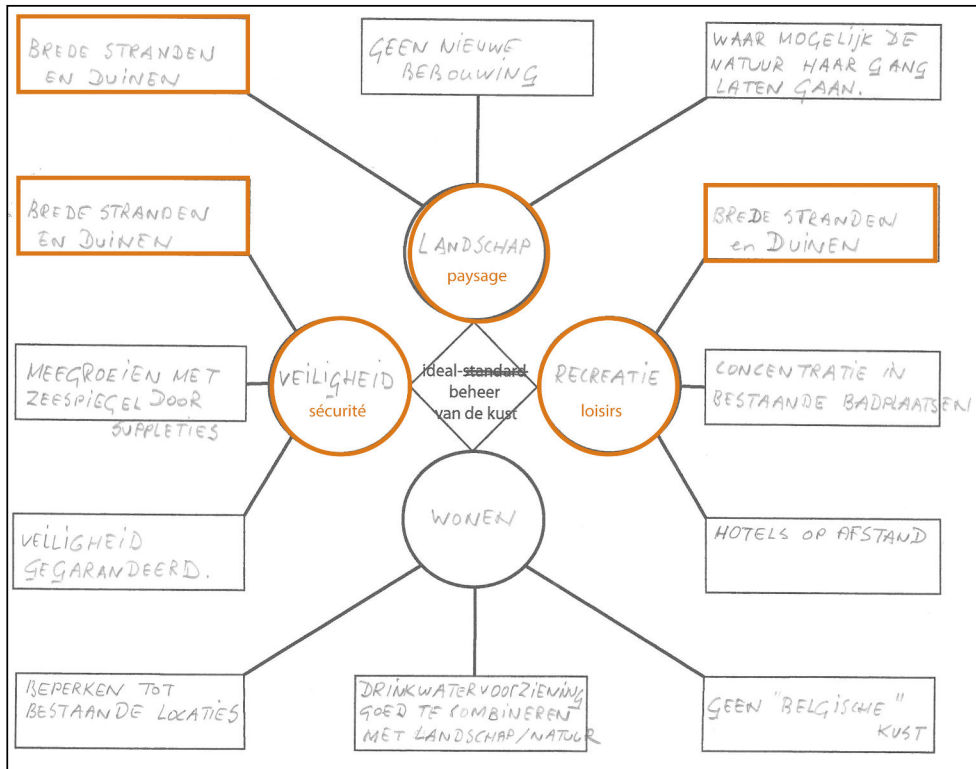


Figure 25 b : Graphe associatif réalisé par un Néerlandais.

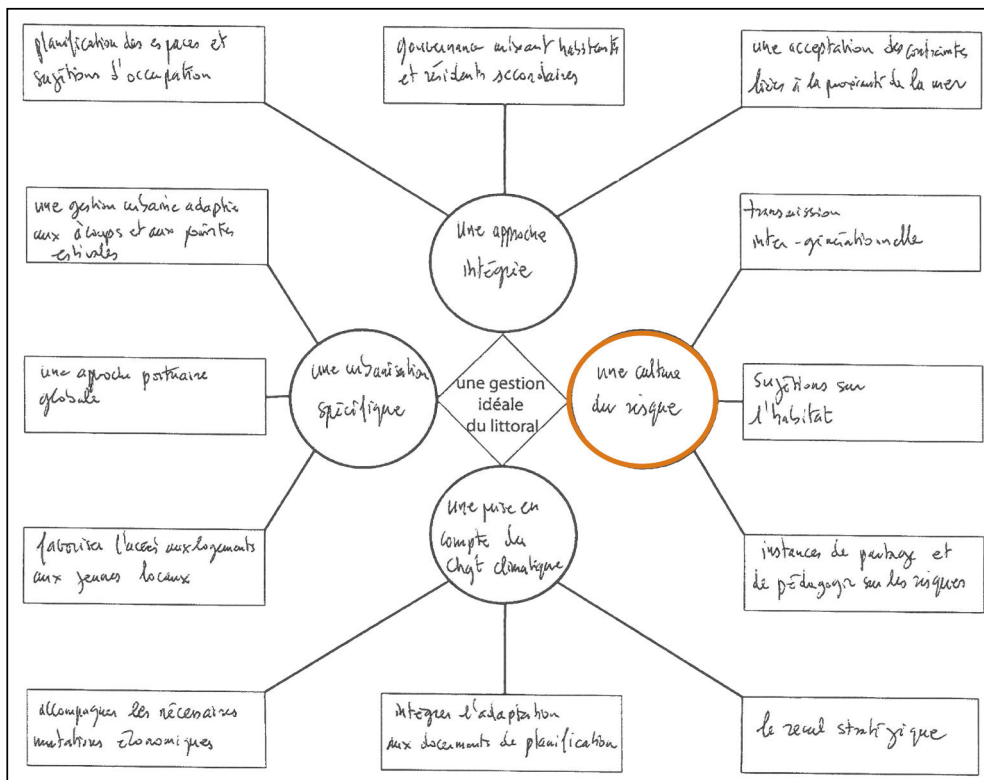


Figure 25 c : Graphe associatif réalisé par un Français

Les spécificités culturelles se retrouvent dans les pratiques de gestion ainsi que dans les préoccupations des acteurs. Le graphe anglais par exemple mentionne le caractère dynamique du littoral et le problème du *coastal squeeze* qui a pour conséquence la perte d'habitats naturels. De même on y retrouve le principe de l'analyse coûts/bénéfices largement mises en avant dans les discours anglais. Le graphe néerlandais fait une large place aux plages et aux dunes (*brede stranden en duinen*). Les côtes sableuses néerlandaises sont un élément caractéristique du paysage littoral néerlandais, mais elles sont aussi associées à la sécurité du littoral et aux loisirs mentionnés presque systématiquement par les acteurs néerlandais. Enfin le graphe français se démarque par la mention, dès le premier rang, de la culture du risque.

Ainsi l'analyse par pays du rang 1 de l'ensemble des graphes a permis de faire ressortir une vision propre du littoral néerlandais, français ou anglais, tous acteurs confondus. De plus, la comparaison faite entre les visions dégagées pour le « littoral d'aujourd'hui » et le « littoral de demain » a permis d'affirmer et de compléter les premières tendances décrites.

Les figures suivantes superposent les réponses obtenues dans chaque pays. Afin de mieux rendre compte des résultats produits et d'éviter tant que faire se peut des distorsions liées au nombre variant des réponses obtenues selon les pays, une pondération a été effectuée. Les chiffres apparaissant sur l'axe de mesure ne correspondent donc pas à l'occurrence des mots cités mais respectent en revanche leur proportion. Malgré cette démarche, l'on doit noter un autre biais également lié au nombre de réponses obtenues par pays. Par exemple, le poids de l'expression *lieux-milieux* ressort particulièrement dans la description faite du littoral français. Or celui-ci aurait sans doute été amoindri si plus de Français avaient répondu. En somme, le faible taux de réponse en Angleterre (9 pers.) et en France (8 pers.) par rapport aux réponses obtenues aux Pays-Bas (21 pers.) n'a pas permis d'obtenir un échantillon qui se voudrait représentatif pour chaque pays. Cette limite dans l'analyse des graphes associatifs incite donc à considérer les résultats suivants avec prudence, malgré leur intérêt.

se révèle être une spécialité néerlandaise. Ceci confirme une tendance remarquée dans l'ensemble des entretiens menés aux Pays-Bas : le mot *sécurité* appartient définitivement au vocabulaire des Néerlandais qui ne se sont par ailleurs jamais exprimés en terme de *risque*. La notion de *risque* en revanche a été beaucoup plus mentionnée dans les discours français et ressort également dans les graphes produits par les Français. Ainsi, le littoral actuel est perçu par les Néerlandais comme un territoire sur lequel on est en sécurité alors qu'il est, pour les Français rencontrés, un territoire à risques. Un plus grand nombre de réponses serait nécessaire pour conforter ce résultat. Cependant, l'abattement récent et encore largement présent dans la mémoire collective de la tempête meurtrière Xynthia pourrait expliquer en partie cette vision française. Ceci ne veut pas dire que la dernière tempête ayant fait de nombreuses victimes aux Pays-Bas en 1953 ait été oubliée, mais les soixante ans qui séparent les actuels gestionnaires du littoral néerlandais de cet événement ont permis de mettre en œuvre une gestion telle que ce territoire à risques est devenu un territoire sûr, sur lequel s'exercent de nombreux loisirs. Ce mot *loisirs* est d'ailleurs le deuxième plus cité par les Néerlandais, avant même les *usages* du littoral. Or la pratique de *loisirs*, terme associé à la détente, à la distraction et au repos, ne peut s'exercer que dans un environnement dans lequel on se sent en sécurité. Cette vision positive que les Néerlandais ont de leur littoral a également été confirmée par l'absence de la notion de concentrations et de pressions qui ressort uniquement chez les Français et Anglais rencontrés. Or, si l'Angleterre est presque aussi densément peuplé que les Pays-Bas, la France en revanche l'est près de quatre fois moins, même le long du littoral. Les acteurs français interrogés semblent particulièrement sensibles aux pressions multiples et croissantes exercées sur un territoire à fortes concentrations géographiques. Enfin, si le caractère *dynamique* du littoral a été cité dans les trois pays, il ressort toutefois de façon plus évidente en Angleterre : ce mot a été le plus cité par les Anglais pour décrire le littoral.

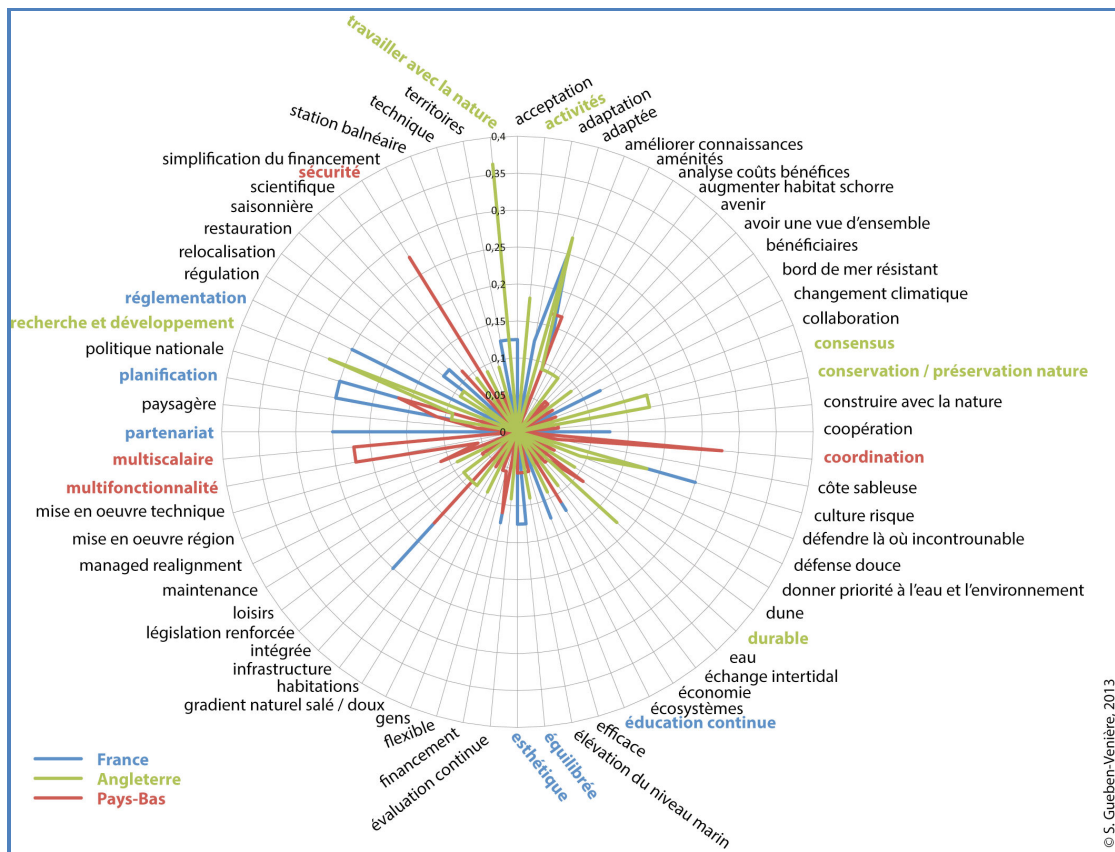


Figure 27 : Mots signifiants associés à une gestion idéale du « littoral de demain » selon les pays.

Gestion idéale pour le littoral de demain (37 pers.)					
France (8 pers.)		Pays-Bas (18 pers.)		Angleterre (11 pers.)	
Occ	Mots cités	Occ	Mots cités	Occ	Mots cités
2	Adaptée	5	Coordination	4	Travailler avec la nature
2	Améliorer culture risque	5	sécurité	3	Adaptée
2	Intégrée	4	Multiscale	3	Recherche et développement
2	Partenariat	4	Multifonctionnalité		
2	Planification				
2	Politique nationale				
2	Réglementation				
		3	Adaptée	2	Activités
		3	Améliorer connaissance	2	Améliorer culture du risque
		3	Intégrée	2	Consensus
		3	Politique nationale	2	Conservation/préservation
				2	Dune
				2	Nature
Vision générale française		Vision générale néerlandaise		Vision générale anglaise	
Réglementaire		Intégrée		Environnementale	

Tableau 17 : Synthèse des plus fortes occurrences des mots signifiants pour les graphes associatifs relatifs à la gestion idéale du « littoral de demain » et visions associées.

Les nuances par pays s'accroissent lorsqu'il s'agit de décrire la gestion optimisée du littoral de demain. Le tableau 17 met en relation les mots cités par pays et les visions qui s'en dégagent. La vision environnementale s'affirme considérablement en Angleterre et

l'expression *travailler avec la nature*, qui apparaît en premier lieu, confirme les propos tenus en entretiens sur l'échelle de gestion à adopter tant spatiale (cellule sédimentaire) que temporelle (moyen et long termes). Cette vision intégrée de la gestion du littoral dans l'espace et dans le temps, s'observe également côté néerlandais puisque les mots *multiscale* et *multifonctionnalité* apparaissent juste après les mots *sécurité* et *coordination*. En France, en revanche, les mots cités décrivent une vision très réglementaire de la gestion du littoral de demain. En complément des entretiens, il est possible d'interpréter cette vision comme une demande, un objectif à atteindre et non comme l'approbation de quelque chose déjà en place. La situation est donc bien différente de celle décrite aux Pays-Bas. En effet, lorsque les Néerlandais mentionnent les mots *coordination* ou *politique nationale*, ils approuvent ce qui est déjà en place.

Conclusion du chapitre 5

La notion d'environnement est donc très présente dans les discours des ingénieurs consacrés au littoral et à sa gestion. Sans perdre de vue leur objectif premier consistant à assurer la sécurité des populations, des activités et des biens, les ingénieurs ne décrivent plus le littoral comme un objet technique qu'il convient « simplement » d'équiper par un nombre croissant d'ouvrages classiques de défense, mais comme un territoire dynamique et complexe, dont les caractéristiques si particulières d'interface terre/mer doivent être indiscutablement prises en compte. Cette évolution de pensée a été vérifiée par l'analyse des discours, puis confirmée par deux techniques graphiques complémentaires, mettant en exergue des visions du littoral que l'on peut définitivement qualifier d'environnementales. Par ailleurs, cette tendance a été démontrée lorsqu'a été posée la seconde grande question des entretiens sur les moyens à mettre en œuvre pour optimiser la gestion côtière actuelle. Ingénieurs comme non ingénieurs ont décrit des modalités de gestion valorisant l'intégration d'enjeux environnementaux en dépassant les freins actuels à sa mise en œuvre, tant économiques que juridiques ou réglementaires, et en y voyant un intérêt sécuritaire et écologique.

Conclusion de la Partie 2

L'ensemble des cas d'étude présentés de même que l'analyse des discours des acteurs ayant participé à la mise en œuvre de solutions innovantes de gestion du littoral, intégrant de multiples enjeux, montre que l'opposition classique faite entre vision techniciste des ingénieurs et vision généralement élargie des non ingénieurs n'est plus pertinente. D'autres facteurs d'explication à cette évolution se sont esquissés. Par exemple, le décalage de génération entre ingénieurs ou le poids des influences culturelles semble plus approprié pour expliquer les nuances apportées aux discours des uns des autres. Il faut examiner plus avant le contenu et l'évolution de la formation des ingénieurs rencontrés pour mieux comprendre le décalage générationnel observé. De même, la façon dont les ingénieurs se sont appropriés le tournant écologique et social caractéristique des années 1970 en Europe du nord-ouest, peut expliquer ce décalage. Enfin, il est nécessaire de se pencher sur les représentations sociales de la mer, des tempêtes et des risques naturels pour mieux comprendre le poids des différences culturelles décelées en première analyse.

TROISIEME PARTIE

Entre peur des tempêtes et amélioration des connaissances scientifiques : un éventail de facteurs explicatifs

Cette troisième partie approfondit les facteurs explicatifs qui se sont esquissés à l'issue de l'analyse des pratiques et des discours des acteurs rencontrés. Trois chapitres structurent ces explications. Le chapitre 6 décrit le tournant écologique et social qui s'est opéré en Europe dans les années 1970 et montre quels impacts cette évolution a pu avoir, à l'échelle nationale, sur les ingénieurs. Le chapitre 7 s'intéresse plus précisément à l'évolution de la formation des ingénieurs et à la façon dont l'amélioration des connaissances scientifiques sur le fonctionnement du littoral et l'amélioration des techniques d'observation puis de modélisation de la dynamique côtière ont été progressivement intégrées à leurs cursus de formation. Enfin le chapitre 8 propose d'autres explications liées aux représentations sociales de la mer, des tempêtes et des risques naturels à l'échelle nationale.

Tournant écologique et social

L'une des premières explications aux évolutions constatées tant dans les représentations que dans les pratiques des ingénieurs en charge de la gestion du littoral, réside dans ce qui est communément appelé aujourd'hui le tournant écologique et social caractérisant les années 1970. Ce dernier, né dans les pays dits riches, s'est peu à peu étoffé pour se construire de façon réglementaire, notamment au niveau européen. Cependant, l'histoire de chaque pays a influencé de façon évidente le rythme et l'ampleur de ce tournant. Ainsi, les Pays-Bas ont par exemple connu un véritable *turning point*, caractérisé par un événement suffisamment fort pour repenser en profondeur les pratiques d'aménagement du territoire et réorienter les décisions politiques. La France et l'Angleterre, au contraire, ont connu une évolution plus diffuse, mais dont les changements *in fine* n'ont pas été moins grands. Après avoir décrit brièvement la mise en place de ce mouvement à l'échelle européenne, ce chapitre propose une analyse de sa structuration aux échelles nationales et de la façon dont le mouvement « vert » a été accueilli par les ingénieurs des trois pays.

I. Moteurs et évolution du mouvement écologique en Europe

A. La naissance de l'écologie moderne : une réponse d'urgence aux périls menaçant la planète ?

L'année 1962 est restée gravée dans les mémoires de nombreuses personnes : « *Printemps silencieux est arrivé comme un cri dans le désert* ». Telle est la façon d'A. Gore d'introduire l'une des nombreuses rééditions du best-seller de la biologiste américaine R. Carson. Robert Poujade, dans son livre *Le ministère de l'impossible*, fait également mention de l'impact de cet ouvrage de vulgarisation scientifique : « *Le livre au titre frappant de Rachel Carson, le Printemps sans oiseaux¹, a fait plus pour la cause de la protection de la nature que des ouvrages d'une autre valeur scientifique* » (Poujade, 1975, p. 149). Ce livre a par ailleurs été cité par plusieurs acteurs rencontrés dans les trois pays, comme étant l'acte de naissance du mouvement écologiste, c'est-à-dire la prise de conscience des interactions existant entre conditions de développement des sociétés et milieu de vie. Auparavant, il était de tradition de distinguer nettement les « défenseurs de la nature », des industriels : « [...] *l'intelligentsia mondiale était unanime pour nier les énormes changements affectant l'environnement. Alors que les économistes ignoraient la nature, les écologistes prétendaient que le genre humain n'existait pas. Plutôt que de tenir leur science avec les impondérables des activités humaines, ils recherchaient les espaces immaculés dans lesquels ils puissent surveiller les flux énergétiques et le mouvement des êtres vivants. De la sorte, leur impact politique et économique – ou écologique – resta nul* » (McNeill, 2010, p. 443). Par la

¹ L'auteur a sans doute fait une confusion entre le titre français du livre *Printemps silencieux*, et son propos qui visait à dénoncer l'emploi de pesticides à l'origine de la disparition de nombreux oiseaux chanteurs...

publication de cet ouvrage, pourtant très critique et radical, R. Carson a finalement réussi à rassembler une société américaine ayant atteint une certaine richesse ou du moins un niveau de vie satisfaisant, lui laissant par conséquent plus de loisir pour entendre ce discours grave et désormais admettre l'écologie comme une nouvelle priorité. Bien sûr, les critiques et les menaces furent nombreuses, et ce n'est pas sans peine que l'utilisation du DDT (Dichloro-Diphényl-Trichloroéthane) - principal insecticide visé dans le livre - a été définitivement proscrite aux États-Unis. Par la portée internationale de cet ouvrage, R. Carson est considérée comme la mère des mouvements modernes de défense de l'environnement (McNeill, 2010).

B. Structuration politique et scientifique de l'écologie

Poussées par de larges rassemblements populaires, tels la première journée de la Terre en 1970 qui a réuni près de vingt millions d'Américains, les instances politiques commencèrent à s'atteler à la définition d'un cadre juridique et réglementaire. Déjà, en 1962, l'Europe s'était dotée d'un comité d'experts dans le domaine, ce qui lui a permis d'adopter, en trente ans, près de deux cents actes législatifs fixant des normes environnementales (Mancebo, 2003). À l'échelle internationale, le sommet de Stockholm a édicté en 1972 un certain nombre de principes déclinant les droits et les devoirs des États et des citoyens en matière d'environnement. Le principe premier déclare ainsi que « *l'homme a un droit fondamental à la liberté, à l'égalité et à des conditions de vie satisfaisantes, dans un environnement dont la qualité lui permette de vivre dans la dignité et le bien-être* ». Pour ce faire, les États devront par exemple prendre toutes les mesures possibles pour empêcher la pollution des mers (principe 7), prévenir les rejets de matières toxiques et permettre la lutte légitime des peuples contre la pollution (principe 6), ou encore planifier la gestion parcimonieuse des ressources naturelles (principe 2). Ces principes ont été entendus par la communauté européenne qui a proposé en 1979 la directive « Oiseaux », destinée à protéger l'ensemble des oiseaux sauvages résidant ou faisant escale sur le continent. Cette directive a en effet été élaborée un an après le naufrage de l'Amoco Cadiz qui avait largement ému l'opinion publique. Le 16 mars 1978, 240 000 tonnes de pétrole se sont répandues sur les côtes bretonnes sur plus de 300 km². Les images, largement relayées par les médias, de la marée noire qui a envahi les côtes et ennoyé de nombreux oiseaux marins et détérioré durablement la faune et flore littorales, ont renforcé le mouvement de contestations écologiques et sociales. En deux décennies seulement, les associations de protection de l'environnement, qui permettaient aux citoyens de faire valoir leurs revendications, se sont développées par dizaines. Ce mouvement associatif s'est progressivement structuré et réglementé pour finalement s'octroyer deux missions principales : la collecte d'informations (permettant ainsi de faire remonter des données locales jusqu'aux pouvoirs publics et assurer un relais solide) puis la consultation et la participation à la gestion de projets (Morand-Deviller, 2004).

Parallèlement à la structuration réglementaire de l'écologie, le domaine scientifique s'est également organisé. En 1970, l'UNESCO a lancé le vaste programme de recherche

² www.ifremer.fr

« Man & Biosphere ». Quelques années plus tard, l'Europe diversifiait les instruments financiers tels LIFE Environnement, dont l'objectif était de promouvoir des techniques novatrices relatives à l'environnement et d'aider au développement de la politique d'environnement communautaire. Entre 1992 et 2006, ce ne sont pas moins de 1513 projets qui ont été financés par ce programme. De même, plusieurs instruments techniques ont été créés, tels le label écologique ou les systèmes d'évaluation (Mancebo, 2003).

Les années 1960 et 1970 ont donc vu naître le mouvement écologiste et se développer de nombreux leviers réglementaires, financiers ou encore techniques. Cette période a ainsi confirmé que l'écologie devenait un nouveau domaine à défendre, le nouvel enjeu de la seconde moitié du XX^e siècle. Mais sa défense, bien que perçue comme une nécessité, était présentée comme une contrainte : le lien constructif entre préservation d'un équilibre « naturel » et développement économique et social satisfaisant n'est pas encore clairement établi à cette époque. C'est d'ailleurs en partie pour cette raison que J. Morand-Deville explique le fort développement des associations de protection de l'environnement : « *le meilleur moyen de contraindre les pouvoirs publics reste alors la voie contentieuse* » (Morand-Deville, 2004, p. 26).

C. De l'écologie à l'environnement et au développement durable

Le mouvement écologiste est né pour répondre d'abord à la dégradation générale de la nature, à la pollution croissante de l'eau, de l'air et des sols, principalement provoquée par le développement incontrôlé des industries chimiques. Ce mouvement s'est donc approprié l'écologie, orientée depuis sa création en 1869 vers une approche biocentrée, en excluant les sociétés, uniquement considérées comme étant à l'origine de la dégradation continue de la nature. Cette opposition entre écosystèmes « adules » et sociétés « nuisibles » s'est atténuée avec l'émergence du concept d'environnement. En géographie, ce terme a été défini par P. George en 1970 comme « *l'ensemble des éléments qui, dans la complexité de leurs relations, constituent le cadre, le milieu, les conditions de vie pour l'homme* » (Georges in Veyret, 2007, p. 133). Ainsi, l'environnement intègre une réflexion multiscalaire et s'analyse selon un emboîtement d'échelles temporelles, intégrant d'emblée la présence humaine. L'approche n'est plus biocentrée mais sociocentrée : « *l'environnement est un objet social qui intègre données sociales et éléments dits 'naturels' dans un construit en quelque sorte 'hybride'* » (Veyret, 2007, p. 134). C'est véritablement l'année 1987 qui, à l'échelle internationale, marquera la mutation de l'écologie à l'environnement à travers le rapport Bruntland.

L'élaboration de la politique européenne environnementale a suivi ce chemin. La directive Oiseaux, établie pour préserver toutes les espèces d'oiseaux sauvages, s'est élargie en 1992 à la directive Habitats, dont l'objectif est non seulement d'accroître la protection à d'autres espèces, mais également de protéger les habitats de ces espèces, c'est-à-dire de prendre en compte les interactions entre espèces et milieux. Les zones ainsi désignées, ont été regroupées en un réseau NATURA 2000. Dans une communication consacrée à la

« protection du littoral dans l'Union européenne », B. Julien³ décrit le problème d'artificialisation croissante du littoral et les dégradations environnementales consécutives depuis les années 1970. Il attribue ces dégradations croissantes au manque de coordination entre les différents secteurs d'activités implantés dans les zones côtières et à la faible articulation entre les politiques publiques et les actions menées aux différents échelons territoriaux. La constitution du réseau NATURA 2000 apparaît ainsi comme la première étape à franchir pour harmoniser les efforts faits et est présentée par B. Julien comme une priorité absolue pour la Commission européenne (Julien, 1995). Le traité de Maastricht, signé en 1992, officialise une politique de l'environnement pour l'Europe en déployant trois principes d'action : les principes de précaution et de prévention ainsi que le principe « pollueur-payeur ». Ce traité résulte des missions de l'AEE (Agence Européenne pour l'Environnement), créée en 1990 pour évaluer et harmoniser les impacts des politiques environnementales des États membres et ainsi définir de nouvelles politiques communautaires (Mancebo, 2003). Malgré cet élargissement de vue permis par l'approche environnementaliste, il a fallu plusieurs années avant que l'Europe ne passe d'une logique de contrainte à celle d'intégration. Le sommet qui s'est tenu à Rio en 1992 consacrait déjà la notion de développement durable dont les principes d'action visaient à concilier développement économique, cohésion sociale et impératifs environnementaux, tout en se préoccupant des conséquences à long terme de décisions prises alors. Ces principes ont été repris par l'Union européenne cinq ans plus tard lors de la signature du traité d'Amsterdam (Bess, 2011). Et ce n'est qu'au cours des années 2000 que l'Europe a lancé des directives prônant la gestion dite intégrée du territoire telle la Directive Cadre sur l'Eau, dont l'objectif général est d'atteindre le bon état des différents milieux pour préserver la ressource en eau⁴. La GIZC (Gestion Intégrée des Zones Côtières) en est un autre exemple, appliqué au littoral.

Le concept de GIZC, considéré comme un prolongement amélioré de la notion de gestion du littoral, ne s'est traduit en recommandation européenne qu'en mai 2002 par le Parlement et le Conseil européens. Son origine remonte pourtant à 1972, année durant laquelle les Etats-Unis ont voté le « *Coastal Zone Management Act* ». Cet acte original prône la nécessité pour les aménageurs du littoral d'adopter un point de vue systémique (Miossec, 1993). Exprimé dans la recommandation du Conseil de l'Europe en octobre 1973 et de l'OCDE en 1976, le principe d'aménagement intégré des zones côtières a ensuite lentement mûri dans les esprits pendant les vingt années suivantes, avant d'être repris au Sommet de la Terre à Rio en 1992 et de figurer dans le chapitre XVII de l'Agenda 21 consacré aux océans (Miossec, 2007).

Ce processus évolutif dans lequel l'intégration est essentielle, répond aux exigences du développement durable et semble connaître un succès grandissant auprès des aménageurs du territoire. La GIZC est un processus dynamique reposant sur une approche systémique, réunissant l'ensemble des acteurs, et destiné à encadrer les politiques sectorielles existantes (Meur-Ferec, 2009). Elle ne doit donc pas être considérée comme une politique d'aménagement supplémentaire, mais comme « *une méthodologie [...] pour construire un*

³ B. Julien était alors Directeur de l'Unité de protection de la nature, des zones côtières et du tourisme à la Commission de l'Union européenne.

⁴ www.eaufrance.fr

projet de territoire » (Cormier, 2007, p. 175). Six grands principes la définissent (MEEDDM, 2010) :

- (1) l'organisation de la concertation entre acteurs pour identifier les enjeux dominants (acteurs rassemblés en trois catégories par V. Morel *et al.* : les décideurs, les experts et les usagers (2008)),
- (2) la délimitation d'un périmètre d'action pertinent, associant parties terrestre et marine.
- (3) la définition de priorités et d'objectifs précis de gestion
- (4) une fois ces trois premières étapes réalisées, il est alors nécessaire de choisir voire de créer, une structure adaptée pour porter le projet de GIZC
- (5) alors seulement la structuration du projet peut être mise en œuvre, c'est-à-dire le recours à différentes sources de financement ainsi que la définition d'indicateurs de suivis
- (6) enfin, la communication sur l'évolution du projet par le biais d'un SIG (Système d'Information Géographique) pourra être établie avec l'ensemble des acteurs et des partenaires du projet.

L'ensemble de ces principes permet de répondre à cinq niveaux d'intégration : intégrations spatiale, administrative, temporelle, sectorielle et environnementale (Lozachmeur, 2009).

Cependant, ces orientations, bien que nécessaires et allant dans le sens d'une optimisation de la gestion du littoral, présentent certaines limites. Dix ans après l'élaboration de cette recommandation, des difficultés récurrentes de mise en œuvre persistent au point que certains posent la question du mythe de la GIZC (Prieur, 2009). Selon R. Billé, ces difficultés relèvent d'une mauvaise interprétation du concept par les acteurs : « *la gestion de l'environnement est définie comme un problème de coordination entre acteurs ; ensuite, la solution au manque de coordination est présentée comme étant la concertation ; enfin, la concertation est considérée comme indissociable du consensus* » (Billé, 2006, p. 3). Sur ce dernier point, A. Miossec répond par la différence culturelle en distinguant par exemple la tradition française, caractérisée par « *le primat de la réglementation* », de la tradition américaine cherchant « *le consensus à tout prix* » (Miossec, 2009). Ainsi le processus de GIZC reste flou et presque doctrinaire pour un certain nombre d'acteurs du littoral (Meur-Ferec, 2009). Ce constat a été confirmé par plusieurs ingénieurs rencontrés en France, comme en Angleterre et aux Pays-Bas. Pour cet ingénieur français par exemple, la lourdeur de la procédure aboutit à une paralysie globale et une perte d'efficacité. Cette lourdeur administrative relève également d'un manque de capacité à définir ensemble des priorités et des objectifs communs :

« J'ai du mal, notamment avec mes collègues de l'ex-DIREN, à comprendre que tout vaille tout : on n'arrive pas à vraiment s'entendre sur ce qui est prioritaire. Par exemple, à partir de quel moment une intervention a un réel impact négatif sur l'environnement ? On ne sait pas toujours le dire. [...] Ce qui fait qu'on ne cherche pas vraiment à prévenir un impact immédiat sur l'environnement, mais plutôt à

décliner une procédure administrative et à avoir un dossier à instruire ; à alimenter, en somme, un système bureaucratique »⁵.

Pour la majorité des ingénieurs néerlandais rencontrés, le processus de GIZC est déjà mis en œuvre depuis plusieurs années aux Pays-Bas, et le pays ne semble pas avoir besoin de cette recommandation européenne pour affirmer l'orientation de ses choix de gestion et leur application. En Angleterre, les ingénieurs ont au contraire mentionné l'importance de la GIZC - même s'ils reconnaissent qu'elle est difficile à mettre en œuvre - en ce sens qu'elle appuie la démarche de concertation mise en œuvre dès le début des années 1990 à travers les *Shoreline Management Plans* et qu'elle confirme la nécessité de définir un périmètre d'action à partir d'unités géographiques pertinentes et non plus administratives (ce point est développé plus avant dans le paragraphe consacré au tournant environnemental anglais).

Côté français, le « Rapport de synthèse sur la gestion intégrée des zones côtières » de M. Prieur⁶ fait mention d'une difficulté majeure : le caractère non contraignant de la recommandation, qui ne peut donc pas être invoquée pour s'opposer à des documents d'urbanisme tels le PLU (Plan Local d'Urbanisme) en France (Prieur, 2009). Ainsi, la recommandation de GIZC doit-elle être soutenue par un droit positif du littoral afin de « *ne plus rester simplement un discours et un thème de colloque* » (Prieur, 2009, p. 3). Pourtant, si cette recommandation suscite de la méfiance, elle suscite aussi un intérêt marqué et croissant par les potentiels porteurs de projets. En 2005, lorsque le gouvernement français a lancé un appel d'offre intitulé « Pour un développement équilibré des territoires littoraux par une GIZC », les candidatures étaient nombreuses puisque 49 dossiers ont été soumis, contre 25 à 30 attendus. Catherine Meur-Ferec a analysé l'ensemble des candidatures pour mieux faire ressortir les profils des dossiers retenus (24 sur 49)⁷. Ainsi, 80% des dossiers retenus avaient pour porteur de projet une structure intercommunale, qui semble donc être une échelle de gestion appréciée tant par l'État que par les porteurs de projets eux-mêmes. La logique de partenariat a été bien développée puisque tous les projets retenus présentaient entre cinq et neuf partenaires. Enfin, l'articulation du projet de GIZC avec les politiques publiques existantes était très bonne et reposait principalement sur l'utilisation du SCOT (Schéma de Cohérence Territoriale) réunissant les principes de décentralisation, d'intercommunalité et d'intégration sectorielle, essentiels pour la mise en œuvre de la GIZC. En revanche, deux difficultés majeures ressortaient systématiquement : d'une part, le faible degré d'association des citoyens à la démarche, dont la participation semblait faire plus office de vitrine que de réelle volonté, d'autre part, la faible prise en compte du temps long dans les projets. Ce dernier point montre la difficulté à envisager le processus de GIZC comme dynamique et évolutif, c'est-à-dire de mettre au point des projets nécessitant un ajustement permanent et des suivis nombreux, et par conséquent une certaine souplesse de gouvernance.

⁵ Extrait d'entretien réalisé avec un ingénieur français

⁶ Professeur émérite, Université de Limoges, Directeur scientifique du CRIDEAU, Président adjoint de la Commission droit de l'environnement de L'UICN, Consultant juridique du PNUE pour la préparation du Protocole

⁷ Meur-Ferec C., 2009, « La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française », *Vertigo*, Hors-série, 18 p.

Le mouvement écologique et environnemental européen s'est ainsi construit et étoffé scientifiquement et politiquement tout au long des quarante dernières années. Le littoral n'a pas échappé à cette évolution. Cette construction a été permise par une influence internationale mais aussi par des initiatives nationales, tout comme elle a orienté et nourri les mouvements environnementaux des pays membres de l'Union. La confrontation de ce mouvement européen à l'histoire de construction des territoires néerlandais, anglais et français, ainsi qu'à leur rapport à la mer et au littoral, en a donné une vision propre à chacun des trois pays. Ainsi, les ingénieurs, figures et symboles de l'aménagement territorial en France et aux Pays-Bas, n'ont pas accueilli ou pris en compte de la même façon que les ingénieurs anglais ces nouveaux enjeux environnementaux devenus incontournables.

II. Le barrage de l'Escaut oriental ou le *turning point* des Pays-Bas

L'ensemble des auteurs ayant publié sur le sujet s'accorde pour associer le phénomène de *turning point* à un événement tel qu'il peut distinguer deux trajectoires⁸. Autrement dit le concept inclut les notions de rupture (impliquant un temps nécessairement court pendant lequel l'événement se produit), et de transition (faisant référence au passage d'un état à un autre). Par ailleurs, pour qu'un événement puisse être qualifié sans artifice de *turning point*, ce dernier doit impliquer des conséquences à long terme (Hareven *et al.*, 1988, in Abbott, 2009). Enfin, un certain recul est nécessaire pour qualifier de tel l'événement survenu : « *Ce qui fait qu'un turning point est un turning point et non une banale ondulation, suppose qu'un temps suffisamment long se soit écoulé 'dans la nouvelle orientation' au point qu'il soit devenu clair que la direction a véritablement changé* » (Abbott, 2009, p. 192).

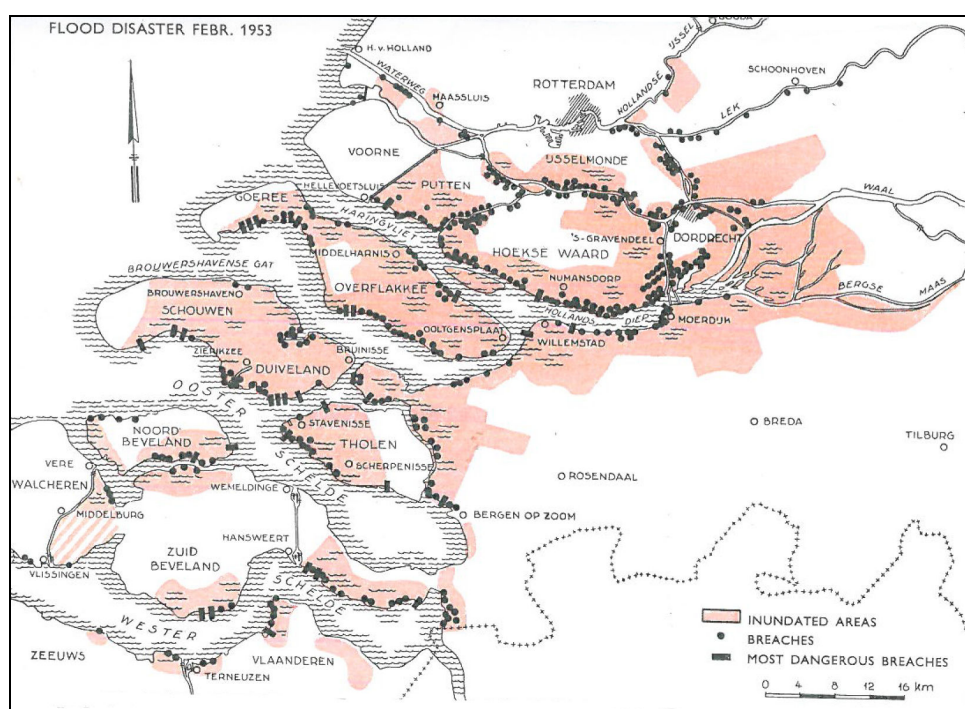
À la lumière de cette définition, il est possible de qualifier le tournant environnemental et social qui s'est opéré aux Pays-Bas de véritable *turning point*. En effet, la réalisation d'un barrage amovible dans l'estuaire de l'Escaut oriental a constitué un acte suffisamment fort pour être qualifié de « symbole » (Iedema *et al.*, 1998), de « révolution » (Saeijs *et al.*, 2001) ayant provoqué une véritable « crise nationale » (Bijker, 2002). La gestion côtière néerlandaise a donc connu un avant et un après 1973, année pendant laquelle décision a été prise de maintenir la communication entre l'estuaire et la mer grâce au barrage amovible de l'Escaut oriental. L'ensemble de la période pré et post *turning point* a été divisée en quatre phases par J. Rotman *et al.* : une phase de pré-développement, une phase de décollage, une phase d'accélération et enfin une phase de stabilisation (Rotman *et al.*, 2000, in Brugge *et al.*, 2005).

A. Phase de pré-développement : 1953-1967

La phase de pré-développement du *turning point* néerlandais se situe entre 1953 et la fin des années 1960. Bien qu'ayant enregistré de nombreuses tempêtes meurtrières depuis le Moyen-Âge, l'histoire des Pays-Bas a été particulièrement marquée par celle qui s'est abattue

⁸ Hughues, 1971 ; Elder, 1975 ; Lasser, 1985 ; Chaffin et Thalley, 1989 ; Kuhn, 1970 ; Cohen, 1985 etc. cités dans Abbott, 2010

durant la nuit du 1^{er} février 1953⁹. Celle-ci reste encore très présente dans la mémoire collective. La carte suivante montre l'ampleur du « Désastre », comme l'appellent les Néerlandais, qui a fait plus de 2000 victimes en Europe du nord-ouest, dont 1836 pour les seuls Pays-Bas (Adriaanse *et al.*, 2008). Les surcotes ont atteint en moyenne 2,50 m en Zélande ou en Hollande méridionale, et jusqu'à 4,55 m à Vlissingen (Saeijs *et al.*, 2004). Selon J. Van Veen, l'étendue de la submersion en Zélande était telle que la région se confondait avec le Zuiderzee, cette étendue d'eau au nord des Pays-Bas, portant le nom de mer du Sud par opposition à la mer du Nord voisine. Cette tempête a réellement été perçue par les ingénieurs de l'époque comme une réelle provocation (Van Veen, 1962).



Carte 25 : l'inondation de 1953 : ampleur de son étendue et localisation des brèches.

Source : Van Veen, 1962

Renforcée par des vents ayant soufflé à plus de 180km/h, les vagues ont percé les digues de dizaines de brèches dont les plus importantes ont atteint 100 m de large et 15 m de profondeur. En quelques semaines, l'érosion des courants formés à chaque marée a considérablement élargi et creusé ces brèches qui ne sont plus devenues que de vastes trous béants allant jusqu'à 200 m de large et 20 m de profondeur (Bijker, 2002). La photo suivante met bien en évidence la force des courants ayant littéralement arraché des portions entières de digues, ainsi que la vulnérabilité des terres zélandaises et hollandaises, dont une large part se situe sous le niveau marin (différence topographique visible : les terres situées en arrière de la digue (à gauche) sont plus basses que le courant qui s'y déverse par conséquent (à droite)). La taille des personnes figurant sur le sommet de la digue restante en arrière plan, donne une idée de l'ampleur des brèches localisées par ailleurs sur la carte 25.

⁹ Pour plus d'informations sur les conditions de formation et les conséquences de la tempête de 1953, consulter la fiche n°/// figurant dans le chapitre 9, p. ///



Photo 45 :

Large brèche à Ouderkerk, au nord de Rotterdam, provoquée par la tempête de 1953. Van Veen qualifie de chutes du Niagara cet endroit :

« Ici étaient les chutes du Niagara, 45 m de large, un bruit incommensurable, qui tombaient dans le polder déjà inondé ».

Source : Van Veen, 1962, p. 174 & 175

« Here was the Niagara, 50 yards wide, roaring above the noise of the wind, falling into the low polder, already inundated »

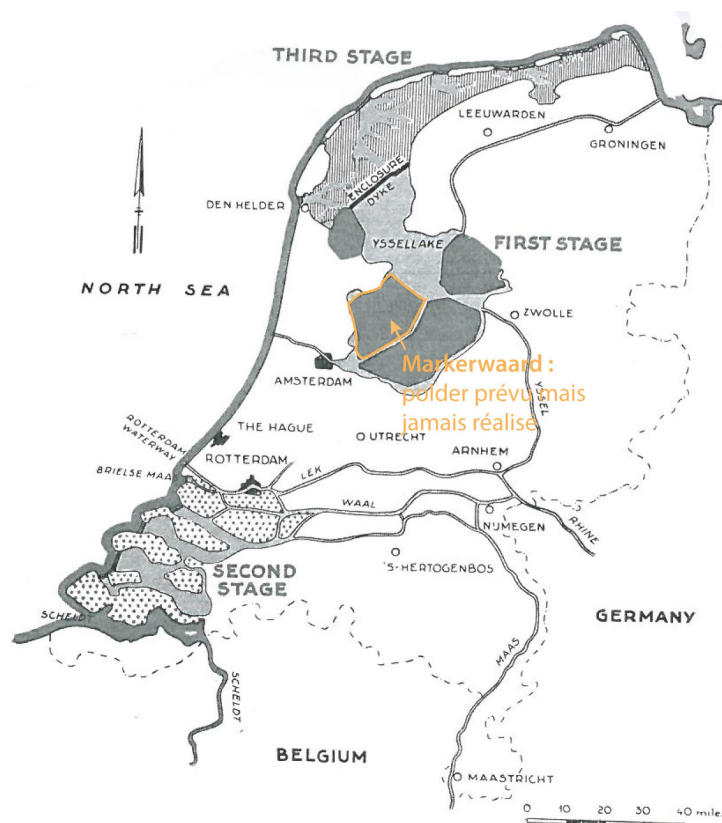
La tâche de reconstruction et de protection était donc particulièrement lourde au regard de l'ampleur du drame et de l'urgence avec laquelle il fallait réagir. Mais les ingénieurs de l'époque avaient bien l'intention de répondre énergiquement, tels des soldats en guerre, à ce qu'ils percevaient comme une provocation supplémentaire : « *Luctor et Emergo. Cette ancienne devise zélandaise nous a stimulé à lutter. Nous aurions préféré la paix, mais l'ennemi ne veut pas de la paix, et reste agressif* »¹⁰ (Van Veen, 1962, p. 196). Johan Van Veen, forte figure d'ingénieur, avait même programmé l'échéance de la victoire : « *Le combat a lieu maintenant ! [...] La victoire finale sur la mer, dans cette région, peut être espérée entre 1975 et 1978* »¹¹ (Van Veen, 1962, p. 182). Ainsi, sur le modèle de ce qu'avait proposé quelques années auparavant leur aîné, l'ingénieur Lely, qui, au lendemain de l'inondation meurtrière de 1916¹² avait entrepris de fermer le Zuiderzee, les ingénieurs du *Rijkswaterstaat* (agence nationale de l'eau) ont proposé au gouvernement un plan de sécurité drastique. Le plan Delta, approuvé en 1955 et définitivement voté en 1958, constituait ainsi la seconde étape d'un projet national de sécurité, imaginé par J. Van Veen, et dont la dernière étape consistait à définitivement fermer la mer des Wadden. L'ampleur des travaux du plan Delta, encore inégalée dans le monde, avait trois objectifs. En premier lieu, il devait sécuriser le pays en raccourcissant le trait de côte et réduire par conséquent le travail de maintenance des linéaires de digues. Ainsi, la fermeture successive des bras d'estuaires de Zélande et de Hollande méridionale (sauf celui de l'Escaut occidental donnant accès au port d'Anvers et celui du Nieuwe Waterweg permettant de rejoindre le port de Rotterdam) a permis de diviser par sept la longueur du trait de côte passant ainsi de 700 à 100 km. Le second objectif lié à la préservation ou l'augmentation des surfaces agricoles, était également fondamental à l'époque. Pour ce faire, les ingénieurs proposaient de renforcer la séparation terre/mer pour prévenir les intrusions marines et par conséquent la salinisation des terres. Ils appuyaient

¹⁰ « This ancient device of Zeeland spurs us to struggle. We would prefer peace, but the enemy does not want peace, it remains aggressive »

¹¹ « The fight is now on ! [...] The 'final' victory over the sea in these regions may be expected between 1975 and 1978 »

¹² L'inondation de 1916 a fait beaucoup moins de victimes que la tempête de 1953. Cependant, les dégâts matériels ont été lourds et l'émotion très forte. Ainsi, après deux refus consécutifs, l'ingénieur Lely a finalement pu, au cours de son troisième mandat en tant que ministre des transports et des aménagements hydrauliques, faire approuver son grand plan de poldérisation du Zuiderzee au nord ouest du pays (Van Veen, 1962 et entretiens).

également leur proposition sur un troisième argument d'ordre socio-économique, visant à développer l'industrie, l'économie des loisirs et assurer l'alimentation en eau par la création de réservoirs d'eau douce (Saeijs *et al.*, 2005).



Carte 26 : Projet de fermeture des bras d'estuaires ainsi que de la mer des Wadden imaginé par Van Veen :

« En fin de compte, les Pays-Bas ne resteront pas éternellement une fosse ; ils peuvent devenir un pays « ordinaire », artificiel certes, mais situé au-dessus du niveau marin. Nous ne pouvons pas attendre les 2 à 3000 ans nécessaires au comblement de cette fosse. L'objectif de sécurité, prioritaire, peut désormais être atteint en 15-20 ans »
 Source : Van Veen, 1962, pp. 195-196

« Ultimately the Netherlands may not be a pit any longer ; it may become an ordinary country, artificial it is true, but above sea level. We cannot wait for the two or three thousands years which are necessary to fill up that pit. Safety, the first thing, can now be obtained within 15-20 years »

Selon la commission Delta, composée exclusivement d'ingénieurs du *Rijkswaterstaat* et soutenue par tous les échelons du gouvernement ainsi que par les lobbies agricoles, la seule limite du plan se trouvait dans la perte de l'activité de pêche. Les pertes écologiques liées à la fermeture de l'estuaire n'ont jamais été mentionnées (Meijerink, 2005). Ainsi, J. Van Veen, considéré comme le « père » des travaux du plan Delta, exposait en 1962 les deux solutions qui se présentaient : « Premièrement, surélever des centaines de kilomètres d'anciennes digues instables, qui ont été au cours des siècles percées à des milliers d'endroits et toujours réparées dans l'urgence. Deuxièmement, raccourcir et créer ainsi une solide ligne de défense entièrement sûre et moderne »¹³ (Van Veen, 1962, p. 182). La dernière partie de cette citation traduit l'importance que les travaux du plan Delta recouvraient pour les ingénieurs de l'époque. En d'autres termes, ils partageaient la fierté de pouvoir offrir à leur pays des barrages d'un grand modernisme, jusque-là inégalé dans le monde. Et leur pays le leur rendait

¹³ « First, heightening hundreds of miles of ancient and unreliable dikes, which in the course of several centuries have been broken at thousands of different places and always repaired in a hurry. Secondly to make the short, strong line of defence wholly reliable and of modern construction »

bien : « *Plein d'admiration pour les travaux des 'génies de l'eau', le public néerlandais et les hommes politiques avaient placé le Rijkswaterstaat 'sur un trône' »¹⁴ (Lintsen, 1998, in van den Brink, 2009, p. 77). Les premiers travaux ont donc commencé en toute confiance, et en 1960, un barrage de 860 m de long fermait le *Zandkreek*. L'année suivante, la construction du *Versegatdam* créait le lac *Veerse Meer*. Les autres constructions de barrages ont suivi sans encombre : la machine du plan Delta était lancée et semblait infaillible. Mais une opposition farouche à la construction du dernier barrage qui devait fermer l'estuaire de l'Escaut oriental s'est fait sentir dès les années 1960. Celle-ci était principalement menée par les pêcheurs et les conchyliculteurs, qui voyaient en ce projet la disparition pure et simple de leur métier. Peu après les propriétaires de yachts ont rejoint le mouvement de contestation des pêcheurs, néanmoins davantage préoccupés par le devenir des loisirs marins - particulièrement développés dans cette partie de la Zélande - que par la protection de l'activité halieutique elle-même.*

À la fin des années 1960, une deuxième vague de protestation, menée cette fois par les écologistes, confortait et amplifiait la première. Indirectement influencés par certains ouvrages tels *Printemps Silencieux*, qui fût particulièrement bien vendu aux Pays-Bas¹⁵, mais aussi directement par le constat qu'ils pouvaient faire de l'ampleur des conséquences écologiques de la fermeture de bras d'estuaires, les écologistes néerlandais ont organisé dès 1967 une conférence considérée comme le véritable point de départ du refus de la fermeture de l'Escaut oriental (Meijerink, 2005). Cette conférence posait pour la première fois la question des enjeux écologiques de ce milieu, jusqu'alors totalement absents du débat. En effet, des problèmes aigus de pollution des eaux s'étaient révélés très rapidement après la construction des premiers barrages du plan Delta. La transformation d'un bras d'estuaire en un lac d'eau salée, tel que ce fût le cas pour le *Veerse Meer* en 1961, n'est effectivement pas sans conséquences écologiques. Tout en précisant que le cas pouvait être généralisé à d'autres transformations du même genre, H. Saeijs a donné quelques chiffres sur la transformation dix ans plus tard du bras de *Grevelingen* en un lac salé. L'une des premières conséquences d'une telle opération est l'assèchement puis la disparition rapide des prés salés, milieux particulièrement riches du point de vue faunistique et floristique. Par ailleurs, le phénomène d'eutrophisation - c'est-à-dire l'enrichissement d'une eau en matières organiques lié à la prolifération et à la décomposition des végétaux aquatiques, provoquée par exemple par un apport massif en phosphate - lorsqu'il est trop important, peut devenir une source d'asphyxie du milieu lacustre (Pech *et al.*, 2001). Enfin, les sources de pollution industrielle nécessitant une régulation certaine, la fermeture de l'estuaire aurait empêché l'évacuation des rejets industriels par les marées et leur concentration aurait fortement augmenté. C'est en effet 2400 tonnes de métaux lourds qui étaient rejetées annuellement en 1970 dans l'ensemble des estuaires néerlandais (Huisman, 2006). Ces changements brutaux ont provoqué une importante altération chimique (très forte baisse des nitrates ainsi que des ions ammonium, et au contraire, multiplication par six des phosphates), à l'origine d'une perte notoire de biodiversité (Saeijs, 1982). En 1972, P. H. Nienhuis dénombrait 252 espèces toutes

¹⁴ « Full of admiration for the work of the 'water wizards', the Dutch public and politicians had put the Rijkswaterstaat 'on the throne' »

¹⁵ plus de 100 000 exemplaires en néerlandais vendus dès le premier mois de parution (Bijker, 2002)

confondues, contre une moyenne de 338 entre 1964 et 1970 (Nienhuis, 1978, *in* Saeijs, 1982). Les anémones de mer ainsi que les crabes et les homards ont par exemple diminué de moitié. Plusieurs espèces d'algues et de poissons ont également diminué de plus d'un quart. De même H. Saeijs prévoyait une diminution non négligeable des échassiers, des mouettes et des sternes pour 1986, date à laquelle l'exécution du plan Delta devait être achevée (Saeijs *et al.*, 1977). Aussi, au regard de la richesse écologique que présentait l'estuaire de l'Escaut oriental, le mouvement écologiste prit-il de plus en plus d'ampleur.

B. Phase de décollage : 1967-1973

Forts du succès de la conférence de 1967, les écologistes, qui s'étaient désormais totalement appropriés le mouvement d'opposition, ont pris la décision de constituer le comité « pour un estuaire de l'Escaut oriental ouvert » en s'entourant de compétences variées et stratégiques. Ce dernier réunissait non seulement des écologistes et des associations environnementales non gouvernementales, mais aussi des biologistes, quelques membres des ministères responsables de la gestion de l'environnement et de la nature et, finalement, de plus en plus d'hommes politiques dont l'influence pouvait être régionale voire nationale (Meijerink, 2005). La richesse estuarienne de l'Escaut oriental fût l'argument principal utilisé par le mouvement pour s'opposer à sa fermeture.

Ce bras d'estuaire joue en effet un rôle particulièrement important au sein du delta zélandais mais aussi à l'échelle du nord-ouest de l'Europe. Ce dernier accueille et nourrit entre autres espèces, de très nombreux oiseaux migrateurs ou locaux, de même qu'un grand nombre de poissons et de crustacés. Chiffres à l'appui et arguments rôdés, la contestation écologiste a donc pris en quelques années la figure d'une véritable lutte écologique mais aussi sociale puisque l'opinion publique soutenait désormais la cause des écologistes. C'est en effet un mouvement social inédit et la volonté de participer au débat lancé, qui a permis le relais des idées écologistes par la population au début des années 1970 : « *Les citoyens voulaient avoir plus de poids dans le processus de décision et ont commencé à se soulever contre la 'politique de l'expertise'* »¹⁶ (Fischer, 1990, *in* van den Brink, 2009, p. 79). L'ampleur de ce mouvement a eu deux conséquences immédiates. D'une part, le monde politique a très vite perçu le potentiel d'électeurs sensibilisés à la cause environnementale (Disco, 2002). L'opposition incarnée par le parti social démocrate s'est donc rapidement faite le porte-parole de ce mouvement, développant en cela une stratégie politique visant à assurer sa victoire aux prochaines élections de 1973. Ainsi, l'opposition, menée par Den Uyl's, avait promis aux électeurs de réexaminer les plans originaux du barrage de l'Escaut oriental et de ne pas négliger les enjeux environnementaux défendus. D'autre part, la pression croissante et très rapide imposée par ce mouvement au gouvernement encore en place a fini par inciter ce dernier à créer une section de recherche environnementale dès 1971 dans le département consacré au plan Delta du *Rijkswaterstaat* (Meijerink, 2005). Cette évolution aurait pu être perçue comme une réelle démarche d'écoute des ingénieurs et de prise en compte de ces nouvelles revendications dans leurs pratiques de gestion. Pourtant elle n'a fait que renforcer

¹⁶ « Citizens wanted to have more voice in decision-making processes and rose in revolt against the 'politics of expertise' »

l'opposition de deux discours : l'un défendant des enjeux environnementaux, l'autre des enjeux sécuritaires. Ainsi, les ingénieurs donnaient leur vision du problème en formulant la question centrale de la façon suivante : « *La protection contre les submersions marines n'est-elle pas plus importante que la préservation d'écosystèmes marins et d'espèces de poissons associées ?* »¹⁷ (Disco, 2002, p. 216). Comme le souligne l'auteur, cette question qui aurait semblé totalement absurde pendant des siècles et jusqu'au milieu des années 1960, ne l'était plus ! Pourtant, jusqu'en 1972 - année de la campagne électorale - elle n'avait alors engendré qu'un dialogue stérile entre deux visions strictement opposées, pour aboutir à un choix cornélien : fermer totalement l'estuaire de l'Escaut oriental - et donc assurer une sécurité sans faille, mais abandonner enjeux écologiques et piscicoles - ou maintenir son ouverture à la mer - c'est-à-dire préserver les enjeux évoqués, mais se contenter d'une protection en demi-teinte contre les submersions marines. Cette année 1972 a donc été particulièrement difficile pour les ingénieurs néerlandais : « *C'était comme une claque en pleine figure pour les ingénieurs du Rijkswaterstaat* »¹⁸ (Bijker, 2002, p. 580). Soudainement, la crédibilité de cette profession était mise à mal par l'opinion publique mais aussi par les hommes politiques en bonne voie pour remporter les prochaines élections. Le pays semblait ne plus voir en cette institution un vivier d'experts mais une organisation sclérosée, incapable d'évoluer et de se remettre en question. Les ingénieurs du *Rijkswaterstaat* venaient, en quelques mois seulement, de tomber du piédestal sur lequel la société néerlandaise les avait placés depuis plusieurs décennies ; un piédestal à la hauteur de la confiance que les Néerlandais portaient à « leurs » ingénieurs (van den Brink, 2009). Mais les élections remportées en 1973 par le parti de Den Uyl's allaient forcer les deux camps à travailler ensemble et trouver une nouvelle solution satisfaisant l'ensemble des protagonistes.

C. Phase d'accélération : l'année 1973

Au lendemain de son élection, le premier ministre Den Uyl's a tenu parole et constitué un comité d'experts pluridisciplinaire chargé d'examiner la faisabilité d'un projet alliant enjeux sécuritaires, économiques et écologiques. Les ingénieurs impliqués dans le projet et désormais confrontés à une forte concurrence, n'avaient d'autres choix que de relever le défi qui se présentait à eux. En effet, l'enjeu était de taille, et en imposant ces nouvelles conditions, c'était une sorte de test que le pays leur soumettait : les ingénieurs étaient-ils toujours capables d'innovations techniques et d'adaptation ? Sachant qu'aucune solution technique n'intégrant pas d'enjeux environnementaux ne serait retenue, les ingénieurs du *Rijkswaterstaat* ont donc pris le problème à bras le corps et réfléchi en concertation pour trouver une réponse technique hybride intégrant cette nouvelle donnée écologique. C'est ainsi qu'a été étudiée plus sérieusement l'ébauche d'un barrage amovible imaginé par des étudiants de l'Université Technologique de Delft, permettant de conserver le jeu des marées en temps normal. Le nouveau comité de l'Escaut, dirigé par un juriste et réunissant un économiste, un

¹⁷ « was timely protection against flooding more important than the preservation of a saltwater ecosystem and associated fisheries ? »

¹⁸ « This was a slap in the face for the Rijkswaterstaat engineers »

biologiste, un expert piscicole, un expert en environnement et seulement deux ingénieurs civils, a donc examiné la faisabilité financière et technique de cette solution (Disco, 2002).

L'année 1973 constitue donc le nœud du *turning point* néerlandais en matière d'environnement ; le pivot autour duquel les tensions se sont exercées, pour aboutir *in fine* à une nouvelle forme de gestion côtière. De nombreux auteurs ainsi que l'ensemble des personnes rencontrées aux Pays-Bas - qu'elles soient écologues, géographes, architectes etc. ou ingénieurs - partagent ce point de vue. Ainsi lorsque leur a été posée la question en entretien, tous les ingénieurs, sans hésitation aucune, ont décrit cet événement comme marquant le début d'une nouvelle trajectoire, d'une réflexion renouvelée de la façon d'envisager la gestion du littoral. Le partage de cette histoire commune, récente de surcroît, entre les différents acteurs de la gestion côtière est fondamental pour expliquer l'évolution du regard des ingénieurs du génie civil et leur implication dans les nouveaux défis à relever. Sander Meijerink analyse d'ailleurs cette évolution à un double niveau, gouvernemental et professionnel : « *Alors que l'installation du gouvernement Den Uyl's a marqué la fin du monopole de la politique du ministère des Transports, des Travaux Publics et de la Gestion de l'Eau et sa 'coalition sécuritaire', la constitution d'un Comité multidisciplinaire de l'Escaut oriental a marqué la fin de la suprématie des ingénieurs civils de Delft en matière de politique d'inondation côtière* »¹⁹ (Meijerink, 2005, p. 1072). Ceci montre qu'après avoir vécu un véritable bouleversement professionnel lié à une remise en question brutale non seulement de la part de l'opinion publique mais aussi de celle du monde politique, les ingénieurs ont su s'adapter et « retrouver » leur place pour mettre au service de ce nouveau mode de réflexion leurs compétences techniques indispensables.

D. Phase de stabilisation : 1973-1976

Très rapidement, la nouvelle commission a demandé des études approfondies pour rendre compte avec précision de la faisabilité d'un barrage amovible. En trois ans, plusieurs rapports ont été produits, confortant rapidement l'idée qu'une telle solution serait non seulement réalisable et très satisfaisante à tout point de vue, mais qu'elle représenterait aussi une expérience fort enrichissante pour le *Rijkswaterstaat* et par conséquent une vitrine mondiale pour le pays (Disco, 2002). Ainsi, en juin 1976, le gouvernement a définitivement voté l'adoption du barrage amovible de l'Escaut oriental, sous trois conditions cependant : d'autres études plus poussées devaient montrer la parfaite faisabilité technique de ce barrage d'un nouveau genre, le coût de construction ne devait pas dépasser 800 000 euros et enfin son exécution devrait être achevée pour 1986 au plus tard (Bijker, 2002). Si les délais d'exécution ainsi que la prouesse technique ont été à la hauteur des attentes du gouvernement, le coût total des travaux a largement dépassé le budget prévu initialement puisque le barrage a coûté environ 2,5 milliards d'euros. Cependant, ce coût exorbitant était à la hauteur du prestige d'un tel projet et reflétait non seulement l'avancée technique néerlandaise, mais aussi le

¹⁹ « Whilst the installation of the Den Uyl's government marked the end of the policy monopoly of the Ministry of Transport, Public Works & Water Management and its 'safety coalition', the installation of a multidisciplinary Eastern Scheldt Committee marked the end of the hegemony of Delft civil engineers in the coastal flooding policy domain »

modernisme et le dynamisme du pays en matière de protection côtière. La fiche suivante détaille les caractéristiques du barrage amovible de l'Escaut oriental.

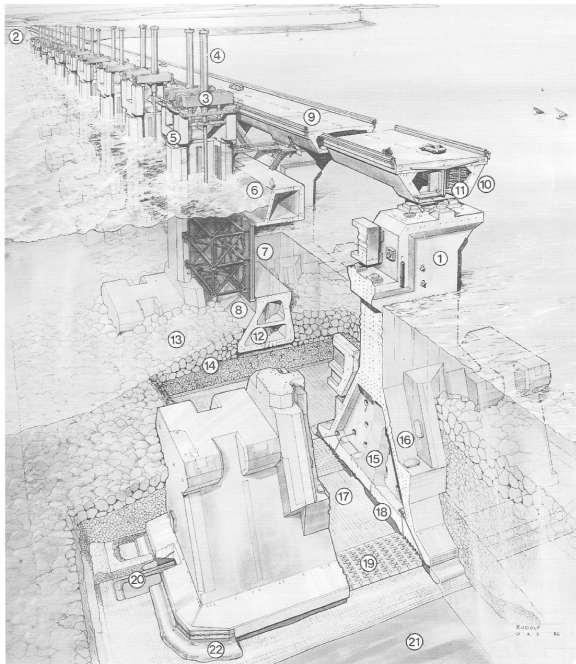
Plusieurs conséquences permettent d'affirmer aujourd'hui que la décision de construire un barrage à l'embouchure de l'Escaut oriental constitue un réel *turning point* environnemental et social dans l'histoire des Pays-Bas. Tout d'abord, c'est la première fois que des enjeux environnementaux ont été pris avec suffisamment de sérieux pour réorienter totalement une décision technique qui semblait pourtant indiscutable (Meijerink, 2005). Par ailleurs, cet événement n'est pas resté un cas isolé mais a remis en question puis définitivement bloqué la création du dernier polder prévu par le plan de fermeture du *Zuyderzee* encore inachevé en 1973, le *Markerwaard polder*²⁰ (Disco, 2002). En ce sens, une distinction a été faite pour la première fois à cette époque entre la gestion d'un problème de protection côtière – la submersion marine – et un équipement technique – le barrage – qui ne pouvait répondre qu'en partie au problème soulevé. De même, l'expérience néerlandaise a eu une influence au-delà des frontières nationales puisque la radicalité du changement opéré et sa précocité ont permis aux Pays-Bas d'influencer dans une certaine mesure la conférence de Rio en 1992 (Saeijs *et al.*, 2001), dont les deux grandes préoccupations concernaient la détérioration de l'environnement et l'interdépendance entre progrès économique à long terme et nécessité de protéger l'environnement. Le *turning point* néerlandais a donc fait évoluer les objectifs de gestion côtière du pays : celle-ci ne devait plus répondre uniquement à un objectif sécuritaire, mais désormais prendre aussi en compte des objectifs environnementaux, sociaux et économiques à long terme. Les Néerlandais sont donc passés d'une gestion sectorisée à une première forme de gestion dite « intégrée » (Disco, 2002). Il a fallu cependant attendre la publication de la stratégie nationale de 2008, intitulée *Working together with water* pour voir confirmée la volonté de l'État d'envisager une véritable gestion intégrée des eaux du pays, qu'elles soient salées ou douces.

Cette évolution de la façon d'envisager la gestion du littoral néerlandais a nécessairement eu des conséquences sur la profession des ingénieurs. Leurs pratiques, jusque là perçues comme triomphantes, ont brusquement été assimilées à de réelles catastrophes environnementales (Disco, 2002). De façon presque immédiate, les ingénieurs du *Rijkswaterstaat* ont dû passer d'une gestion monodisciplinaire à une gestion pluridisciplinaire des problèmes de protection côtière. Le *turning point* écologique des Pays-Bas a donc déterminé de la même façon un profond virage professionnel pour les ingénieurs du pays. Enfin, la mise en œuvre d'une réflexion pluridisciplinaire a permis à l'écologie de s'affirmer comme une discipline à part entière et de se construire scientifiquement. L'ensemble de ces conséquences fait l'objet de la quatrième partie de cette étude.

La particularité du tournant écologique et social néerlandais trouve certainement une explication dans la très forte concentration géographique du pays, qui le différencie en ce sens de l'Angleterre et de la France où le mouvement environnemental s'est opéré de façon plus diffuse.

²⁰ voir carte n°26

Fiche 6 : le barrage amovible de l'Escaut oriental

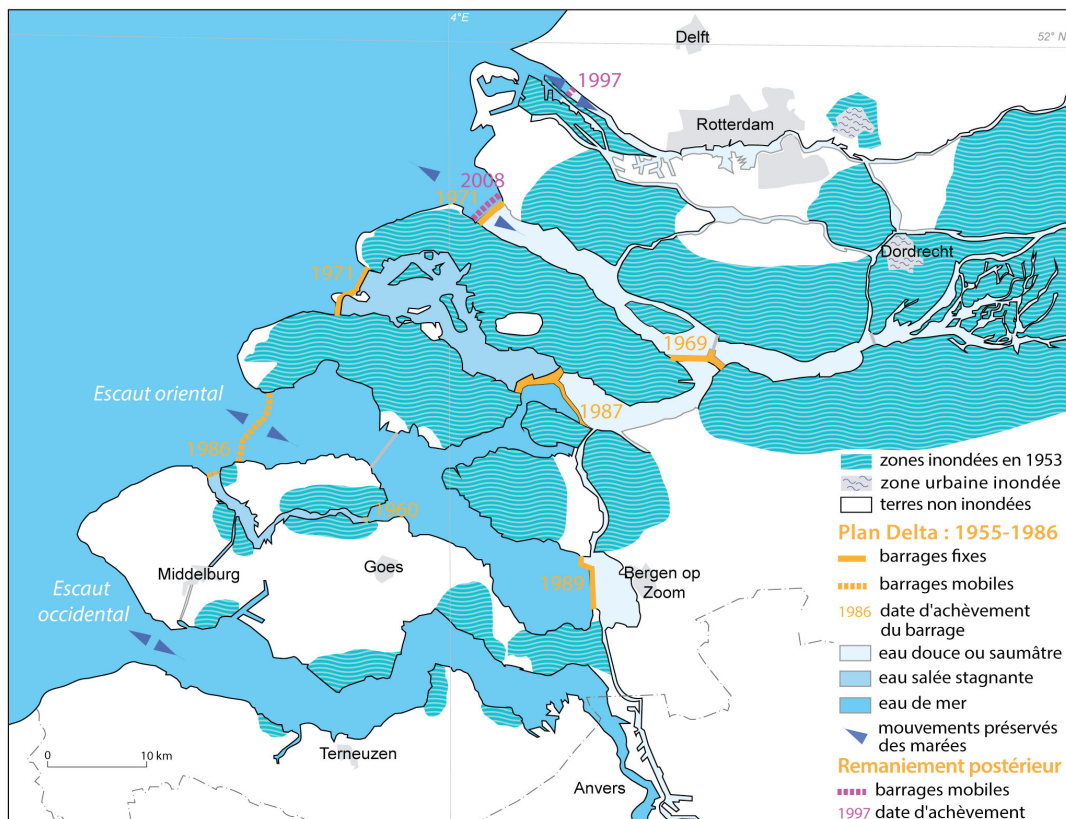


- | | |
|--|--|
| 1. pile | 13. couche supérieure du seuil |
| 2. barrage de moëllons | 14. coupe du seuil |
| 3. poutre pour la suspension du mécanisme de commande des vannes | 15. sable de remplissage du socle de la pile |
| 4. verrin hydraulique | 16. appui des poutres intérieures |
| 5. élément supérieur de la pile | 17. matelas supérieur |
| 6. poutre supérieure | 18. mélange de ciment, de sable et d'eau |
| 7. vanne | 19. matelas de dalles |
| 8. poutre intérieure | 20. matelas inférieur |
| 9. route | 21. sous-sol du barrage (sable compacté) |
| 10. élément de tablier avec dispositif de commande des vannes | 22. sac de graviers |
| 11. passage pour canalisations et conduites | |
| 12. sable de remplissage de la poutre intérieure | |

← **Figure 28** : coupe technique du barrage.
Source : Rijkswaterstaat, 1987

↓ **Photo 46** : partie sud du barrage.
Passe de Roompot. S. Gueben-Venière, 2010

↓ **Carte 27** : la Zélande : inondée en 1953
endiguée dès 1960, par les barrages
du plan Delta. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2011



III. Une évolution certaine mais plus diffuse en Angleterre et en France

A. Un tournant écologique et social plus progressif qui explique une perception variable selon les acteurs

Contrairement aux Pays-Bas, l'Angleterre et la France ont connu un tournant environnemental et social aux contours plus flous. La perception de ce tournant varie d'ailleurs beaucoup d'un interviewé à l'autre quelle que soit sa nationalité ou sa profession.

1. Perception constatée en Angleterre

En Angleterre, c'est avec quelque hésitation que les personnes rencontrées ont livré leur point de vue. Pour cet environnementaliste, le tournant écologique s'apparente à une transition liée aux directives européennes : « *Je pense que la transition écologique a quelque chose à voir avec l'Union Européenne... Je ne suis pas sûr... Tout ce que je sais c'est que notre législation provient de l'Europe* »²¹. Pour cet ingénieur jeune retraité, les choses ont évolué durant les années 1980 : « *Je pense qu'il y a eu un changement dans les années 1980 vers une approche plus large. Cela s'est ensuite développé en un lent processus évolutif* »²².

En revanche, pour cet autre ingénieur, l'évolution a été plus tardive et coïncide avec les missions dont il a été chargé dans l'estuaire de la Humber :

« *Au moment où j'ai rejoint l'Agence de l'Environnement, l'un des problèmes récurrents de gestion concernait la division régionale de l'Agence. Trois structures étaient alors mécontentes de cette organisation des choses : MAFF (maintenant DEFRA), English Nature (maintenant Natural England) et la RSPB [...]. Elles ont pressé le National River Authorities (maintenant Environment Agency) de considérer l'estuaire de la Humber comme une seule unité. Cela s'est produit en 1996, au moment où je suis arrivé. [...] J'ai donc travaillé pour la stratégie de gestion de la Humber. Mon travail en 1996 consistait à réunir toutes les données à prendre en compte pour établir ce plan global de gestion de l'estuaire* »²³

Enfin, cette géomorphologue, embauchée en 1991 dans la même structure, considère que le réel tournant a eu lieu en 2004, lorsque le gouvernement a ouvertement affiché sa volonté de mettre en œuvre une approche dite intégrée du risque inondation (d'origine marine

²¹ « I think the environmental transition has something to do with the European Union... I don't know... All I know is that our legislation comes from Europe »

²² « I think there is a shift in the 1980's into a broader approach. This has since developed further in a slow evolutionary process »

²³ « Around the time I joined the agency [Environment Agency], one of the problems occurring was that the EA was split into regions. [...] At that stage three organizations were upset about this : MAFF (now DEFRA), English Nature (now Natural England) and the RSPB [...]. All these three consultees were unhappy. They urged National River Authorities (now Environment Agency) to consider the estuary as a single unit. This occurred around 1996, around the time I joined. [...] So, I was working for the Humber strategy. My job in 1996 was to put together a plan to manage the estuary as a whole ».

ou fluviale) en publiant *Making space for water*²⁴, considérant que cette stratégie résultait d'une lente maturation de réflexion de l'ensemble des acteurs de la gestion du littoral.

Ces extraits d'entretiens réalisés en Angleterre confirment deux choses. D'une part, les acteurs actuels de la gestion côtière perçoivent l'intégration d'enjeux environnementaux comme le résultat d'une évolution et non comme la conséquence d'un événement précis ayant particulièrement marqué l'histoire environnementale du pays. D'autre part, les deux avis formulés par les ingénieurs montrent que c'est à travers leurs propres pratiques de gestion côtière qu'ils ont perçu ce tournant environnemental. La période qu'ils attribuent à ce tournant est nettement conditionnée par leur expérience professionnelle. Ceci explique le décalage temporel entre les deux avis : pour le plus âgé des deux, ce tournant s'est opéré dans les années 1980 alors que le plus jeune le fait correspondre au milieu des années 1990.

2. Perception constatée en France

L'absence de consensus se remarque également en France. Ainsi, pour cet ingénieur diplômé en 1993, le tournant écologique et social est tout récent et définitivement lié à son expérience professionnelle : « *Oui, la France a connu un tournant écologique et social et je l'ai vécu : c'est le Grenelle de l'environnement. [...] Le fait que la charte de l'environnement soit adossée à la constitution française représente un acte politique national fort* ». Une économiste, proche de la retraite, considère au contraire que la notion d'environnement (et non seulement d'écologie) était présente de façon précoce en France, dès les années 1960 : « *la loi sur l'eau de 1964 proposait déjà une approche dite intégrée en prenant pour échelle de référence celle des bassins versants, et cela quarante ans avant la directive européenne GIZC* ». D'autres ingénieurs ont tantôt situé le tournant écologique et social français dans les années 1970, prenant pour référence la loi de la protection de la nature de 1976, tantôt durant les années 2000, lorsque la question est apparue dans le débat des élections présidentielles de 2007 puis dans la fusion des deux grands ministères de l'Équipement et du Développement Durable au cours de la même année.

Ainsi, bien que les origines du mouvement de protection de la nature remontent à plusieurs décennies, en France comme en Angleterre, la construction du mouvement environnemental moderne n'a pas suivi le même chemin dans les deux pays, et la place et le rôle des ingénieurs dans cette progression n'ont pas été les mêmes dans l'hexagone et outre-Manche.

²⁴ Cette stratégie nationale vise à accepter l'eau pour mieux s'en protéger, en lui accordant plus d'espace, par le biais de réservoir de stockage par exemple. C'est dans cet objectif qu'une brèche a été ouverte à Alkborough, cas d'étude présenté dans le chapitre 4.

B. Un mouvement ancien, construit en opposition à la révolution industrielle en Angleterre

1. Une vision d'abord esthétique de l'environnement, monopole de l'aristocratie anglaise

L'intérêt porté à l'environnement en Angleterre s'est manifesté de façon très concrète dès la fin du XIX^e siècle par la création en 1889 de la SPB (*Society for the Protection of Birds*) puis en 1895 du *National Trust*. Les Anglais ont donc d'abord accordé leur attention à la protection des oiseaux et à la conservation des paysages. La création de la SPB avait pour but premier de mettre fin au sacrifice d'oiseaux majestueux, dont les plumes venaient orner les chapeaux des Ladies - coutume très en vogue à la fin de l'époque victorienne. En effet, la loi sur la préservation des oiseaux marins de 1869 (*Sea Birds Preservation Act*), étendue à la protection des oiseaux sauvages en 1880 (*Wild Birds Protection Act*) n'avaient pas réussi à venir à bout de ces pratiques destructrices. Pour ce faire, la SPB - devenue la RSPB (*Royal Society for the Protection of Birds*) par l'attribution d'une charte royale en 1904 - a fait appel à certaines personnalités de la noblesse, directement concernées par ces coutumes, pour devenir ambassadeur de l'association. Le succès a été immédiat et continu puisque la RSPB a le soutien de plus d'un million de membres aujourd'hui et compte parmi les associations de protection de l'environnement les plus influentes du pays.

Parallèlement à cette passion des oiseaux, les Anglais ont également développé à la même époque une admiration sentimentale pour les paysages :

« c'est fondamentalement l'émotion esthétique provoquée par le spectacle de la nature qui est à l'origine de l'action des Sentimentaux. Ils parent cette dernière d'arguments divers, sanitaires notamment, mais en son cœur réside ce plaisir originel de la beauté naturelle, souvent compris d'ailleurs comme un premier pas vers la dignité. Dès lors, un certain mépris se décèle souvent pour ce qu'ils considèrent comme la grossièreté et l'insensibilité de leurs adversaires, incapables, selon eux, de reconnaître la valeur d'un paysage » (Mathis, 2010, p. 288).

Par « paysages », il faut comprendre paysages « naturels », par opposition aux paysages industriels qui n'étaient d'ailleurs pas considérés comme des paysages par l'aristocratie anglaise de l'époque. Pourtant, c'est également à l'époque victorienne que se sont développés les premiers ouvrages de défense côtière imaginés par les ingénieurs pour protéger les villas construites en bord de mer et répondre à l'engouement de l'élite sociale pour le littoral (French, 2004 ; Miossec, 1993). L'apparition d'épis ou de digues ne semblait donc pas poser de problèmes à ces touristes privilégiés, qui ne voyaient paradoxalement pas en ces équipements l'altération du paysage littoral...

Quelques années après la création de la RSPB, le *National Trust* est né de la volonté d'une poignée d'aristocrates de préserver les paysages de la campagne britannique présentant une beauté naturelle exceptionnelle d'une part, de les rendre accessible au plus grand nombre d'autre part. Le *Trust* s'est donc principalement constitué en opposition au développement

industriel effréné et par conséquent aux dégradations environnementales qu'il provoquait (Buller, 1995). L'association n'était pas tant concernée par la lutte contre la pollution industrielle que par la conservation de reliques paysagères non encore dévorées par l'appétit féroce des industriels. Les paysages devenus propriétés du *Trust* étaient envisagés comme de véritables « produits touristiques » (Miossec, 1993).

Selon C.-F. Mathis, l'ignorance réciproque des deux groupes, aristocrates et Sentimentaux, d'un côté, hommes d'affaires, industriels et ingénieurs de l'autre, n'a fait qu'affaiblir le mouvement naturaliste. Cependant, à la fin du XIX^e siècle, l'instabilité potentielle des valeurs économiques tant prônées par la révolution industrielle commence petit à petit à faire mouche :

« Jusqu'à présent, le monde et tout ce qu'il contenait appartenait à l'ingénieur et à l'entrepreneur, et quiconque rêvait de poser des limites à leurs efforts était tenu pour un rêveur réactionnaire. Des difficultés financières ont en fin de compte donné à l'opposant une chance d'être écouté »²⁵.

Cette citation de 1876 affiche par ailleurs un certain mépris pour le monde industriel, mais aussi pour les ingénieurs à l'origine même du développement technique du pays et donc de l'état des rivières et de l'air. Pourtant la consolidation scientifique de l'écologie, c'est-à-dire une nouvelle capacité à pouvoir mesurer les taux de pollution, puis le rapprochement fait entre pollutions diverses et maladies, a ouvert aux ingénieurs de l'époque les voies de l'expertise : l'espoir d'un nouveau bonheur social, lié à la création d'infrastructures sanitaires telles le traitement des eaux d'égouts, a pu exister grâce aux ingénieurs sanitaires. Ainsi, la question de l'environnement en Angleterre ne s'est pas contentée uniquement d'une dimension esthétique et paysagère, mais avait également une signification sociale importante en matière de santé, que le pays a su diffuser dans toute l'Europe dès XVIII^e siècle (Mathis, 2010).

2. Un renouvellement de la question environnementale au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale

a. L'État légifère

Il a fallu cependant attendre la fin de la Seconde Guerre Mondiale pour que les pouvoirs publics prennent le relais des associations environnementales (Goeldner, 1999). Depuis lors, une batterie de lois a vu le jour, protégeant l'environnement et planifiant sa gestion. Deux lois, votées en 1949, sont essentielles à retenir : le *National Parks and Access to the Countryside Act* et le *Coast Protection Act*. La première a instauré les SSSI (*Special Sites of Scientific Interests*), désignés par le NCC (*Natural Conservancy Council*) créé à cet effet (Goeldner, 1999). Il existe aujourd'hui plus de 4100 sites désignés, ce qui représente environ 8% du territoire anglais. Cette loi a également donné lieu à la création de treize parcs

²⁵ « *For the moment the world and all that is therein belonged to the engineer and the contractor, and any one who dreamed of setting bounds to their efforts was set down as a reactionary dreamer. Financial embarrassments have at length given the objector a chance of being listened to* » (« Railways and Scenery », *Saturday Review*, 22 janvier 1876, in Mathis, 2010, p. 297).

nationaux, dont huit sont situés sur le littoral anglais et gallois²⁶. Par ailleurs, le *Coast Protection Act* a permis une centralisation des décisions et des financements en matière de gestion du littoral et de placer l'intérêt général au-dessus de l'intérêt individuel (Miossec, 1993). Cette loi a octroyé au DETR (*Department of Environment, Transport and the Regions*) à l'époque, la gestion des problèmes d'érosion principalement liés aux falaises (« *coastal protection* ») et au MAFF (*Ministry of Agriculture, Fisheries and Food*) celle des problèmes de défenses contre la mer (« *sea defense* ») (Hooke *et al.*, 1998). Jusqu'en 1995, la gestion du littoral a donc été scindée en deux. Par la suite, la loi sur l'environnement de 1995 a transféré cette responsabilité à l'*Environment Agency* (anciennement *National River Authorities*), soutenue financièrement par DEFRA (*Department of Environment, Food and Rural Affairs*).

b. Le *National Trust* prend de l'ampleur

C'est également dans la période d'après guerre que le *National Trust* a définitivement pris l'essor d'un grand organisme de protection de l'environnement (Mathis, 2010) et le nombre croissant de ses adhérents (près de trois millions) met en exergue une véritable demande sociale. Dans les années 1960, cette structure a montré un intérêt grandissant pour les paysages littoraux (Miossec, 1993). Entre 1965 et 1995, le *National Trust* a ainsi acquis 588 km de rivage tout en prenant bien garde de ne pas limiter ces acquisitions à un simple linéaire côtier, mais d'y inclure l'arrière-littoral. Ainsi, chaque kilomètre linéaire acquis correspond également à 60 hectares d'arrière-pays (Buller, 1995). Les acquisitions des terrains littoraux du *National Trust*, plus nombreuses dans le Pays de Galles et le Sud-Ouest que sur la côte est réputée moins belle, confirment aujourd'hui encore la volonté de l'organisme de conserver des paysages selon une certaine notion qu'il se fait de l'esthétique : « [...] le trust n'a pas forcément choisi ces propriétés pour refléter la diversité écologique et physique du littoral britannique mais plutôt pour satisfaire à une certaine perception esthétique des côtes » (Buller, 1995, p. 133). L'organisme se positionnait donc comme le garant de la conservation d'espaces littoraux « naturels » et ne participait pas d'une gestion côtière qui intégrerait des enjeux environnementaux au développement économique et touristique du bord de mer. Ainsi, même au cours de la décennie suivante, les années 1970, alors qu'une conscience écologique se développe à la lumière de conférences internationales, les ingénieurs du génie civil semblent rester en marge de ce que l'on pourrait appeler un mouvement environnemental moderne. Peter French écrit ainsi à propos de cette décennie : « Il s'agissait d'une phase de transition incomplète pour la gestion du littoral : alors que la population devenait de plus en plus concernée par la protection de l'environnement et le bien-être qu'il pouvait procurer, les ingénieurs civils persistaient encore à promouvoir des solutions classiques de gestion côtière »²⁷ (French, 2004). Il a fallu attendre la fin des années 1980, et surtout les années 1990 pour voir se développer la volonté de mettre en œuvre une gestion dite intégrée du littoral.

²⁶ www.nationalparks.gov.uk

²⁷ « This was very much a transitory phase for coastal management because although people became more concerned for environmental welfare and protection, civil engineering still persisted as the generally accepted solution to coastal problems »

3. 1986 : l'année environnementale du littoral anglais ou la réconciliation entre ingénieurs et « protecteurs de la nature »

L'année 1986 est une année importante pour la gestion du littoral britannique. À la suite de problèmes d'érosion le long de la côte sud, exacerbés par l'implantation d'ouvrages d'ingénierie pourtant sensés remédier au problème, plusieurs structures et organismes ont décidé de se concerter, considérant qu'il n'était plus possible d'agir isolément, sans se préoccuper des répercussions de choix de gestion effectués localement (Hooke *et al.*, 1998). À l'issue de la conférence SCOPAC (*Standing Conference on Problems Associated with the Coastline*), cinq objectifs ont été définis :

1. éliminer le risque d'érosion induit par des travaux d'ingénierie maritime décidés localement
2. permettre une approche coordonnée des travaux d'ingénierie côtière décidés le long de la côte sud (concertation horizontale)
3. assurer un échange d'informations sur les échecs et succès de mise en œuvre de travaux d'ingénierie (concertation sur les retours d'expérience)
4. établir un lien permanent entre gouvernement, autorités locales et toute structure concernée par des projets d'ingénierie côtière (concertation verticale)
5. identifier les besoins en terme de recherche

Cette conférence pluridisciplinaire, qui a fait des pratiques d'ingénierie côtière exercées jusqu'alors le nœud de sa réflexion, est considérée comme le point de départ des futurs SMP (*Shoreline Management Plans*). Ces plans de gestion, principalement développés dans les années 1990, font preuve en effet d'une innovation sans précédent en matière de gestion du littoral. D'une part, c'est la première fois que des problèmes d'érosion sont discutés à l'échelle de la cellule sédimentaire²⁸ et non plus selon des unités administratives non adaptées. D'autre part, ces plans ont été mis au point par des *Coastal Groups* - groupes de réflexion pluridisciplinaires constitués à cet effet²⁹. Les ingénieurs du génie civil ont donc été naturellement intégrés à ces nouvelles entités, et en ont parfois même pris la direction. Cela a par exemple été le cas de T. Kermodé, *Chartered Engineer* et vice président du Southern Coastal Group dans les années 2000.

C'est donc véritablement dans les années 1990 que le mouvement environnemental s'est traduit de façon très concrète dans les pratiques de gestion du littoral. Cette décennie peut ainsi être considérée comme celle du tournant environnemental et social britannique dans le domaine littoral et ce pour trois raisons principales. Dans un premier temps s'est opéré un changement d'attitude des ingénieurs vis-à-vis du littoral qu'ils admettent depuis lors comme un système dynamique : «[...] les ingénieurs ont adopté l'idée selon laquelle imiter le comportement naturel des côtes était mieux que de s'opposer à ces processus par la

²⁸ « compartiment littoral contenant un cycle complet de sédimentation incluant les sources de production sédimentaire, la mobilisation des sédiments, leur transport et enfin leur dépôt » (EUROSION, 2011)

²⁹ voir carte 24 ch. 5, présentant les différents Coastal Groups

construction de structures solides »³⁰ (French, 2004, p. 120). Cette nouvelle posture a été à la fois moteur et conséquence d'une réconciliation entre ingénieurs/aménageurs, préoccupés en premier lieu par la sécurité des populations et écologues/défenseurs de la « nature », soucieux d'améliorer la restauration des habitats littoraux. La mise en œuvre des *Coastal Groups* a joué, de façon évidente, un rôle important dans cette évolution constatée. Par conséquent, les ingénieurs, en concertation avec d'autres acteurs, ont su proposer à partir de cette décennie des solutions alternatives aux problèmes d'érosion côtière. Le rechargement en sable, le *managed realignment* ou tout simplement l'abandon des défenses là où elles ne sont plus estimées nécessaires, se sont développés pendant la décennie 1990 (Bray *et al.*, 2004 ; Goeldner-Gianella, 2013).

C. Un essor environnemental plus complexe en France

Les premières formes d'attention portée à la préservation de l'environnement en France et en Angleterre se sont manifestées à peu près à la même époque puis ont évolué parallèlement pour prendre un réel essor après la Seconde Guerre Mondiale – essor soutenu par une opinion publique de plus en plus concernée (Bess, 2011). Ainsi les deux pays présentent des similitudes dans l'élaboration de leur mouvement environnemental moderne. Quelques années avant la création du *Trust*, sont nés le Club Alpin Français (CAF) et le Touring Club de France (TCF), respectivement en 1874 et 1890. Les deux organismes avaient le même double objectif que leur voisin outre-Manche : développer un tourisme de nature qui se voulait ouvert au plus grand nombre tout en préservant les paysages. En France, les paysages de montagne ont été parmi les premiers à faire l'objet d'une attention particulière. Bien que ce pays possède plus de 5500 km de côtes et puisse être géographiquement considéré comme littoral, il n'en résulte pas moins que la France est culturellement tournée vers le travail de la terre (Charles *et al.*, 2010). Ce trait de caractère est commun avec l'Angleterre, territoire pourtant insulaire, dont les premières formes de protection se sont orientées vers les paysages ruraux. La représentation esthétisante du paysage, mise en avant par le courant romantique et l'élite sociale, avait également en France une place essentielle dans la protection de la nature. Toutefois à la différence de l'exemple anglais, les ingénieurs français ont été moteur des prémices du mouvement environnemental moderne.

1. Rauch puis Le Play, des ingénieurs environnementalistes avant-gardistes

En 1792 déjà, F.-A. Rauch, ingénieur des Ponts et Chaussées, avait voulu dissuader l'État de vendre les forêts nationales au profit de l'agriculture. Outre les profits engendrés par une exploitation parcimonieuse de la forêt, ce visionnaire défendait la nécessité de préserver « l'harmonie des éléments », mettant en exergue le rôle des loups ou des corbeaux dans l'élimination des cadavres. Une lettre adressée par ce dernier au président de l'Assemblée

³⁰ « [...] engineers [adopted] the ideology that to mimic natural coastal behaviour is better than to interfere with processes by erecting solid structures »

législative en 1821 proposait la création d'un ministère bien particulier : « *Il faut une âme centrale pour cicatrifier beaucoup de plaies faites par le temps (...), d'où créer un ministère spécial qui embrasserait les parties qui se rapportent à la nature végétale serait le plus beau cadeau que la France peut recevoir dans sa situation actuelle* » (Cans *et al.*, 2008, p. 10). Cent cinquante ans avant la création effective du ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement, cet ingénieur en avait imaginé l'ébauche : il voyait à long terme et pensait la préservation de « l'équilibre naturel » à l'échelle nationale. Si son opinion, trop avant-gardiste, n'a pas été prise en compte à l'époque, l'ingénieur a tout de même ouvert la voie à une protection de la nature envisagée comme un tout, nécessitant à la fois une attention portée à la faune et à la flore, mais aussi aux milieux qui les accueillent. En établissant un lien entre faune, flore et milieu, F.-A. Rauch admettait donc différentes temporalités et offrait dans une certaine mesure une vision dynamique, évolutive de la protection de la nature.

Un demi siècle plus tard, la dimension humaine et sociale, intrinsèque à la notion d'environnement, a été ouvertement défendue par les Leplaysiens. Ces ingénieurs, dans la lignée de F. Le Play, mettaient en avant une conception sociale de la protection du milieu montagnard par opposition à une conception étatiste, dont l'objectif de préservation de « l'espace-nature » impliquait le contrôle voire l'exclusion totale des populations locales par la nationalisation du sol (Kalaora *et al.*, in Cadoret, 1985). L'État, et donc la majorité des ingénieurs du corps, tenaient par exemple pour responsables de l'érosion des sols les bergers, décrits comme perturbateurs d'une « nature vierge » (Charles *et al.*, 2010, p. 8). La dimension sociale - inhérente à la notion d'environnement - défendue par les Leplaysiens aurait sans doute pu évoluer vers un mouvement écologique et social moderne. Mais l'influence de ce courant d'ingénierie a été brève et s'est éteinte au début du XX^e siècle (Kalaora *et al.*, 1986). L'obsession des Leplaysiens à vouloir conserver religieusement les milieux de montagne et à stabiliser à tout prix les populations, a abouti à une rigidité d'esprit et finalement un manque de vision à long terme. Ces ingénieurs ont sous-estimé « *la profondeur et l'irréversibilité des changements entraînés par la révolution industrielle* » (Kalaora *et al.*, in Cadoret, 1985, p. 16). Ils n'avaient pas admis la protection de la nature comme nécessairement dynamique, assimilant certes les rythmes dits 'naturels', mais aussi les rythmes sociaux en constante évolution. Ainsi, le mouvement étatiste de protection de la nature a pris le dessus, délaissant la dimension sociale pour mieux affirmer sa composante scientifique.

2. Une institutionnalisation très rapide du tournant environnemental

Si le tournant environnemental français s'est construit progressivement comme en Angleterre, son accomplissement s'est néanmoins effectué dans un laps de temps plus restreint. En l'espace de trois ans, de Mai 68 à la création du ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement en 1971, la « *protection de la nature* » était devenue une *expression familière dans les médias de masse comme dans la classe politique française* » (Bess, 2011, p. 102). Bien que l'environnement ne fut pas le sujet premier de Mai 68, ce printemps « *fut dans la politique française, un tournant fondateur, dont l'écologisme français tira directement bénéfice, à partir duquel il prit son essor et auquel il emprunta une large part de son anti-étatisme et de son anti-consumérisme* » (Bess, 2011, p. 107). Ainsi, peu

auraient parié, au milieu des années 1960, qu'un ministère en charge de la protection de la nature et de l'environnement verrait le jour dès le début de la décennie suivante en France, qui était « *habituellement considérée par le monde comme un « cancre écologique »* (Cans et al., 2008, p. 17). Avant la France, seuls la Suède en 1967 et les Etats-Unis en 1970 avaient créé une simple agence nationale chargée de la protection de l'environnement (McNeill, 2010). Ce qui est particulièrement étonnant est l'emploi du mot environnement dans la désignation du ministère. Ce mot, que personne ne parvenait à définir réellement devenait subitement une priorité nationale au même titre que l'industrie, la santé ou l'agriculture. Jacques Chaban-Delmas avait déclaré à ce propos en 1971 : « *Quel beau ministère dont on a inventé le nom avant de connaître la chose* » (Chaban-Delmas cité dans Charvolin, 2003, p. 67). La méconnaissance de ce que recouvrait la notion d'environnement à l'époque se lit également, de façon plus officielle, dans une lettre du premier ministre adressée à l'équipe de R. Poujade³¹ et S. Antoine³² et relative à la mission du futur ministère :

« *Dans le cadre de la politique française d'aménagement du territoire, je vous demande de bien vouloir me soumettre, avant la fin de l'année, un programme d'action propre à assurer une maîtrise plus grande de l' « environnement », par les moyens notamment de la lutte contre les nuisances, de la réduction du bruit, de l'élimination des déchets, de la sauvegarde des sites et des paysages, de la protection des grands espaces naturels, etc. [...] »*³³

Ainsi que le souligne F. Charvolin, l'énumération de quelques nuisances, de même que l'emploi de guillemets pour mentionner l'environnement, fait ressortir le manque de clarté de la mission de ce nouveau ministère. Les difficultés de gestion liée à la sectorisation des problèmes environnementaux ont d'ailleurs été mentionnées par R. Poujade : « *Au gré des fantaisies, je devais être le ministre des rivages ou des chiens abandonnés, ou de la forêt, ou du silence, ou de la voiture électrique, ou des ordures. En réalité je devais être tout cela à la fois. Il était difficile de faire comprendre (et même au début de comprendre) que tout cela était lié. Chacun prêchait pour son saint sans se soucier du voisin* » (Poujade, 1975, p. 35).

Jusqu'alors, la France, tout comme l'ensemble des pays industrialisés de l'époque, était principalement tournée vers l'écologie et la lutte sectorielle contre les pollutions multiples. En juin 1966 et décembre 1967, la DGRST (Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique) concentrait principalement ses efforts sur la lutte contre la pollution dans quatre champs d'application : l'eau, l'air, l'hygiène alimentaire et les nuisances sonores (Charvolin, 2003). C'est donc tout naturellement, et en accord avec les préoccupations de l'époque, que R. Poujade s'est investi en priorité dans la lutte contre la

³¹ Homme de lettres, R. Poujade a été le premier ministre de l'environnement jusqu'en 1974, puis, entre autres, président du Conservatoire du Littoral.

³² Énarque, S. Antoine faisait partie des fortes personnalités de l'équipe entourant R. Poujade lors de la création du tout premier ministère de l'environnement.

³³ Extrait de la lettre du 24 octobre 1969, signée par le J. Chaban-Delmas, premier ministre de l'époque, cité dans Charvolin, 2003, p. 68.

pollution. Ainsi, le littoral a d'abord fait l'objet d'une lutte contre la pollution des mers par le rejet d'hydrocarbures qui venaient polluer les côtes, avant d'être, beaucoup plus tard, dans la loi qui lui a été consacrée en 1986, envisagé comme un milieu entre terre et mer, à l'équilibre fragile et nécessitant une gestion appropriée.

3. Un bouleversement pour le corps des ingénieurs

a. Une adaptation difficile pour des ingénieurs projetés dans l'inconnu

Bien que qualifié de « *révolution tranquille* » par M. d'Ornano (Bess, 2011, p. 261), ministre de la Culture et de l'Environnement de 1977 à 1978, le tournant environnemental et social français a néanmoins créé un réel bouleversement pour le corps des ingénieurs, et ce à double titre. D'une part, la politique de l'environnement dans les années 1970 n'était pas clairement définie. Ainsi, défendant les ingénieurs des Ponts et Chaussées qui « *méritaient mieux que leur réputation* » d'agresseurs du milieu naturel, R. Poujade expliquait : « *On demandait tout à coup aux ingénieurs des Ponts d'inclure dans leurs devis le prix du silence, la valeur sociale des espaces verts. Les politiques montrant peu d'enthousiasme à transformer les données de la comptabilité publique, les techniciens avaient du mal à les précéder !...* » (Poujade, 1975, p. 52). Le manque de direction claire ainsi que le budget et les moyens humains extrêmement restreints³⁴ qu'avait obtenus ce nouveau ministère ne facilitaient pas la tâche de la profession. D'autre part, la réticence des ingénieurs à se lancer corps et âme dans cette nouvelle direction s'expliquait également par le manque de formation en la matière. Là encore, R. Poujade a nuancé et expliqué les critiques qui pouvaient leur être directement adressées : « *Les ingénieurs des Ponts, hommes de terrain aussi, suivirent leurs ministres mais avec prudence. Je les ai sentis de plus en plus conscients de la nécessité de protéger les paysages, de ne pas perturber les milieux naturels. Mais ils trouvaient bon, en définitive, que d'autres, plus motivés, plus compétents, défendent ces intérêts face à eux. Le dialogue avec possibilité de recours à un arbitrage est en effet plus facile et plus sûr que l'autocensure* » (Poujade, 1975, p. 53). Serge Antoine, qualifié de « *génie de l'environnement* » par R. Poujade, allait également dans ce sens en exposant l'ampleur du changement d'attitude que supposait l'acceptation de la notion d'environnement, précisant qu'à la création du nouveau ministère, tout restait à faire, à démontrer et tout le monde, aménageurs, ingénieurs comme citoyens, devait être éduqué et convaincu :

« *La notion d'environnement était une notion qu'il a fallu créer, qu'il fallait percevoir. C'était une conscientisation. L'environnement, c'est une conscientisation perpétuelle d'ailleurs. Car, même si on utilisait le mot régulièrement, derrière le mot, la chose n'était pas perçue. Personne ne percevait la réalité [...]. La globalisation, la perception globale, physique et sociétale, [...] c'était assez rare dans l'administration. Chacun débitait des morceaux d'environnement par petits bouts et*

³⁴ En 1971, le budget du nouveau ministère atteignait 0,3 % des dépenses de l'État. Dans les années 1990, ce budget a été réduit à 0,1 % des dépenses annuelles de l'État.

n'employait pas le mot pour couvrir la chose [...]. Ça n'a jamais été un conflit, sauf plus tard dans les attributions. Mais, dans cette période-là, il fallait d'abord essayer d'expliquer que le mot environnement avait un sens, que ça pouvait signifier des approches différentes, multidisciplinaires, globales, sociétales. Tout cela n'était pas courant »³⁵

La conclusion de S. Antoine confirme la relative précocité de la France dans l'élaboration de lois ou la création de structures dédiées à la protection de l'environnement. La loi sur l'eau de 1964 par exemple, prônant la gestion de l'eau par grande unité hydrographique, devance de près de quarante ans la directive cadre sur l'eau. De même, l'écho européen de la « Loi 76-629 » relative à la protection de la nature, c'est-à-dire la protection de la faune, de la flore et de leurs habitats, n'a vu le jour qu'en 1992 avec la Directive Habitat. Autre exemple, celui de la démocratisation de l'enquête publique environnementale visant à impliquer les citoyens en amont des processus de décision, qui a fait l'objet de la loi Bouchardeau en 1983, puis d'un renforcement du principe de participation en 1995 dans la loi Barnier. Or l'implication des citoyens ne se retrouve réellement que dans la GIZC, pour ce qui concerne le littoral, directive datant de 2002. Cette précocité a été suivie d'un long cheminement qui a eu une influence certaine sur les mœurs. Ainsi, D. Voynet déclarait à propos de la LOADDT (Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable des Territoires) : « *L'étape qui vient d'être franchie semble irréversible. Le ministère de la Nature de Monsieur Poujade s'est métamorphosé en « maison » du développement durable ; l'administration de mission de l'avenue de Ségur, poil à gratter des politiques publiques, en grand ministère régalien doté de moyens conséquents* » (D. Voynet, citée dans Bess, 2011, p. 273). Au tournant des années 2000, le *ministère de l'Impossible* - tel que R. Poujade l'avait qualifié peu après sa démission, donnant ainsi une idée de l'ampleur du travail à accomplir alors en matière de réglementation et d'éducation - faisait donc figure d'un grand ministère comparable à celui de l'Équipement et avait réussi sa mission de sensibilisation et de mise en œuvre d'une politique environnementale.

b. Une vision fragmentée des ingénieurs, de la notion d'environnement

Pourtant, il semblerait que la majorité des ingénieurs soit restée plusieurs années en marge du mouvement, parfois plus préoccupés par une potentielle perte de pouvoir liée au remaniement des compétences des différents ministères et des différents corps d'ingénieurs. Ainsi que le précisent R. Cans et F. Charvolin : « *la question des corps joue beaucoup sur l'orientation et la réflexion de l'époque qui célèbre le progrès technique* » (Cans et al., 2008, p. 14). En somme, la complexité que suppose la gestion environnementale - vision globale, pluridisciplinarité et vision à long terme - n'était pas encore envisagée par les ingénieurs comme une opportunité à saisir, mais plutôt comme une entrave à leur façon de pratiquer l'aménagement du territoire. Ainsi, les ingénieurs avaient une vision de l'environnement fragmentée. C'est d'ailleurs ce qui a été reproché à la Loi de 1976 sur la protection de la

³⁵ Citation de S. Antoine, in Charvolin, 2003, p. 115

nature, qualifiée de « jurisprudence d'ingénieurs » en ce sens qu'elle offrait, selon les universitaires, « *une vaste accumulation de milliers de prohibitions techniques, toutes très précises, mais sans vision ni mission d'ensemble* » (Theys, cité dans Bess, 2011, p. 261). Bien que la raison d'être de la DATAR et la mise en œuvre d'une politique de l'environnement « *n'était pas aussi antagoniste qu'on a bien voulu le dire* » selon R. Poujade³⁶, l'équilibre recherché entre aménagement et gestion environnementale consistait à l'époque en une alternance de zones urbanisées et de zones préservées. C'est ce qui a par exemple été recommandé par la Mission Racine et pratiqué le long du littoral languedocien. Le schéma de cette mission, élaboré pour répondre avant tout à un objectif touristique et économique, avait certes réussi à éviter le mitage du littoral méditerranéen en regroupant l'offre d'hébergement dans des points de fixation touristique et en respectant des coupures d'urbanisation drastiques entre les stations balnéaires, mais n'avait pas tenu compte du fonctionnement dynamique du littoral. Ainsi, les problèmes d'érosion hérités de la Mission Racine sont toujours d'actualité et montrent bien l'absence, à l'époque, d'une réflexion de gestion intégrant à la fois des problématiques économiques mais aussi environnementales, au sens géographique et complexe du terme, c'est-à-dire comprenant les interactions reliant activités, équipements et milieu physique.

Si S. Antoine s'est néanmoins entouré de quelques ingénieurs issus de la DATAR, symbole des « aménageurs-bétonneurs », pour répondre à la mission du nouveau ministère de l'Environnement, ce dernier comptait avant tout sur leur ouverture d'esprit et leur amour pour la nature. Comme aimait à le préciser R. Poujade, il s'agissait d' « *hommes et [de] femmes aux curiosités multiples qui étaient à la recherche d'un équilibre* »³⁷. L'analyse du récit de vie effectué auprès d'une économiste et Inspectrice générale de l'environnement au Conseil général de l'environnement et du développement durable, spécialiste du milieu littoral, relate également cette marginalité à l'époque :

« À l'époque je travaillais au SEATL (Service d'Études et d'Aménagement Touristique du Littoral). Il s'agissait de services de prospective et de pilotage de politiques publiques rattachées à différents ministères (Agriculture, Équipement...). Mais toutes ces réflexions-là n'ont pas vraiment été prises en charge par les ingénieurs du ministère de l'Équipement.[...] J'ai, par exemple, beaucoup travaillé avec les ingénieurs et les chercheurs de l'Ifremer. On cherchait des gisements de sable pour arrêter les exploitations de sable en estuaire ou le long des côtes pour limiter l'érosion côtière. Et pendant ce temps là, les ingénieurs faisaient des digues ! Donc nous étions tous rattachés au ministère de l'Équipement, et il y avait deux cultures qui ne se fréquentaient pas. Nous étions les rigolos à l'époque. De même, je proposais de fixer les dunes avec des oyats, alors que mes collègues faisaient de l'enrochement et des digues. Ils me prenaient pour une rigolote. On était marginaux,

³⁶ Extrait de l'interview de Robert Poujade par Emmanuel Laurentin dans l'émission *La Fabrique de l'histoire* sur France Culture, consacrée le 28 mars 2011 à l'histoire de l'environnement.

³⁷ Extrait de l'interview de Robert Poujade par Emmanuel Laurentin dans l'émission *La Fabrique de l'histoire* sur France Culture, consacrée le 28 mars 2011 à l'histoire de l'environnement.

vous comprenez, on n'était pas ingénieur. Nous, nous parlions. Eux faisaient ! Ils faisaient des ouvrages. [...] C'est pour ça que je suis partie à l'Environnement, moi, qui étais économiste, aménageuse ! »

Ce n'est que plus tard, grâce à une éducation progressive de la population française, et par conséquent des ingénieurs, que s'est effectué un lent cheminement vers une sensibilisation au caractère complexe des questions environnementales.

c. Vers une sensibilisation croissante des ingénieurs aux questions environnementales

Ce lent cheminement explique en partie l'effet générationnel constaté dans le discours des ingénieurs rencontrés³⁸ et par ailleurs décrit dans l'étude de C. Didier et C. Tallin sur les dynamiques environmentalistes des ingénieurs en France³⁹. Ces auteurs expliquent le rajeunissement du groupe professionnel par l'importante augmentation du nombre de diplômés durant les dernières décennies. En 1960, environ 5000 élèves ingénieurs ont été diplômés contre 33 000 en 2009, soit près de sept fois plus qu'en 1960. Ainsi, il y a de plus en plus de jeunes ingénieurs dont les opinions et les pratiques en matière environnementale s'accordent avec leur génération et diffèrent *a priori* de celles de leurs aînés. Par ailleurs, C. Talin et C. Didier observent qu'en 2011, 12% des ingénieurs étaient d'accord avec l'affirmation générale suivante : « *le progrès technique apporte plus de mal que de bien* », contre seulement 2 % en 1999. Bien que cette proposition soit très générale et par conséquent difficile à interpréter, elle s'inscrit tout de même en opposition avec l'esprit de domination technique si développé au XIX^e siècle. De même, l'étude révèle que les ingénieurs de moins de 30 ans se sentent plus responsables que leurs aînés des conséquences des nouvelles techniques mises au point. Enfin, 48% des ingénieurs de moins de 30 ans pensent « *la Nature assez solide pour compenser les dégâts industriels* », contre 58% des plus de 60 ans. Cette analyse verticale de l'évolution de l'opinion des ingénieurs sur plusieurs années d'intervalle fait ressortir le développement « *d'une forme de conscience critique des ingénieurs* » (Didier *et al.*, à paraître, p. 8) et donc un changement d'attitude des ingénieurs sur la façon d'envisager leur rôle au sein de la société. Cette prise de conscience environnementale complète les caractéristiques de l'ingénieur proposées par l'historien E. Layton⁴⁰. Ainsi, non seulement la contrainte économique et la commande politique s'exercent sur l'ingénieur, mais aussi désormais l'impact environnemental des solutions de gestion qu'il propose. Cette nouvelle responsabilité de l'ingénieur est la conséquence évidente du long cheminement de réflexion environnementale produite depuis les années 1960.

Toutefois, l'étude de C. Didier et K. Talin montre également que si l'ensemble des ingénieurs est de plus en plus sensible aux questions environnementales, ce groupe professionnel se distingue nettement de l'opinion des Français sur la question. D'une façon générale, les ingénieurs semblent plus confiants dans l'avenir (87% des ingénieurs pensent que « *le génie de l'Homme permettra que la Terre reste vivable* » contre 51% des Français) et

³⁸ Voir chapitre 5

³⁹ Didier C., Talin K., (2014 à paraître), " Engineer's ecoscepticism as an ethical problem" in S. H. Christensen, B. Newberry, M. Meganck and C. Didier (eds.), *Engineering Identities, Epistemologies and Values : Engineering Education and Practice in Context*, Volume II, Springer, 500 p.

⁴⁰ voir introduction sur le positionnement des ingénieurs au sein des décideurs.

moins inquiets que les Français pour l'environnement (seuls 14% des ingénieurs répondent positivement à l'affirmation suivante « *si les choses continuent sur leur lancée, nous allons bientôt vivre une catastrophe écologique majeure* », contre 89% des Français). Ces résultats confirment que la dimension technique est toujours très présente dans la profession : les ingénieurs, par leurs capacités techniques et leur confrontation quotidienne aux questions environnementales, sont à la fois moins alarmistes et plus sensibles à ces questions que la population française. Ainsi les compétences techniques des ingénieurs, loin d'être antinomiques avec le concept d'environnement, apparaissent au contraire comme une qualité, faisant ressortir la figure d'expertise de ce groupe professionnel.

Conclusion du chapitre 6

Le tournant environnemental qui s'est opéré en Europe du nord-ouest a progressivement « éduqué » les citoyens et l'ensemble des aménageurs du territoire. Cependant ce facteur ne saurait être le seul à expliquer la divergence d'opinion sur les questions environnementales entre des ingénieurs récemment diplômés et leurs aînés. Pour expliquer l'évolution des discours et pratiques de ce groupe professionnel en matière de gestion du littoral, il est indispensable de prendre en compte l'analyse de la formation des ingénieurs, elle-même influencée par cette évolution des politiques environnementales.

Une évolution scientifique et pédagogique à la fois moteur et conséquence du tournant écologique et social

L'élargissement de la notion d'écologie au concept d'environnement qui a caractérisé la progression du mouvement « vert » a été rendu possible, en ce qui concerne le territoire littoral, dès lors que la compréhension du fonctionnement physique des côtes s'est affinée. Il est en effet possible aujourd'hui de concevoir une gestion intégrée du littoral grâce aux énormes progrès réalisés dans la seconde moitié du XX^e siècle en océanographie et en géomorphologie. Or ces apports théoriques ont été de pair avec une amélioration rapide des techniques de recherche et des outils de mesures, outils principalement issus de l'ingénierie. Ces derniers ont permis par exemple une précision croissante de la modélisation. Inversement, la formation des ingénieurs a progressivement intégré au cours des dernières décennies de nouveaux cours sur l'environnement. Ainsi, l'amélioration des connaissances sur la mer et les côtes, la multiplication d'échanges de qualité entre ingénieurs et scientifiques, de même que l'ouverture de la formation des ingénieurs aux sciences environnementales, constituent un autre ensemble explicatif majeur de l'évolution des pratiques constatées chez les ingénieurs. Enfin, la question des incertitudes scientifiques liées au réchauffement climatique peut également expliquer une orientation des aménageurs vers des solutions dites « sans regret » et éventuellement réversibles. La troisième partie de ce chapitre décrit ainsi la façon dont les Pays-Bas, l'Angleterre et la France ont pris en compte les projections établies pour le Nord-Ouest de l'Europe pour les cent prochaines années et montre dans quelle mesure ceci peut inciter les ingénieurs à renouveler leur réflexion sur la gestion du littoral.

I. Amélioration et partage des connaissances scientifiques sur la dynamique littorale

A. Une amélioration des connaissances théoriques permise par les avancées technologiques

La littérature relatant l'évolution de l'acquisition des connaissances scientifiques sur le fonctionnement du littoral semble assez mince. Ceci tient sans doute à la jeunesse de la discipline dans ce domaine. Les connaissances en géomorphologie du littoral se sont en effet enrichies à partir des années 1950 et ont évolué parallèlement au développement de nouvelles technologies. Ainsi l'analyse chronologique de l'apparition des techniques de mesures peut permettre de mieux cerner l'évolution des connaissances acquises en géomorphologie littorale.

1. Quelques précurseurs aux fortes intuitions. Connaissances fragmentées jusqu'en 1950

a. Contribution des ingénieurs à l'échelle locale et ultra-locale de la vague

Les ingénieurs, s'ils n'ont pas ou trop peu théorisé leurs observations, ont néanmoins été parmi les premiers à se questionner sur les mouvements terrestres. Ainsi, Léonard de Vinci, que l'on peut qualifier d'ingénieur par ses nombreux travaux techniques, avait déjà cerné sans pouvoir l'expliquer, le rôle des rivières dans la formation des vallées (Tricart, 1968). De même la construction au XVII^e siècle d'épis transversaux pour mieux retenir les sédiments, met en exergue l'intuition que certains ingénieurs de l'époque avaient de la dérive littorale (Pinot, 2001). Mais le manque d'écrits sur ce principe n'a pas ouvert à leur suite un questionnement plus vaste.

Il a fallu attendre le XVIII^e siècle pour qu'une réflexion sur la formation des modelés resurgisse en Europe et que soit formulée par Newton la théorie des marées (Guilcher, 1965). En France, l'ingénieur hydrographe Lamblardie, successivement directeur des Ponts et Chaussées puis de l'École Polytechnique, a tenté, dès la fin du XVIII^e siècle, d'évaluer le transit de galets le long du littoral du Pays de Caux afin d'estimer les dragages nécessaires au maintien des petits ports (Tricart, 1968). Au milieu du XIX^e siècle, le développement de la mécanique des fluides a permis d'affiner la modélisation mathématique du comportement des vagues. En 1879, Sir H. Lamb a par exemple proposé une mise en équation du transport de l'énergie des vagues. Ses travaux réédités jusqu'en 1932, ont longtemps influencé les ingénieurs anglais en charge de l'aménagement des côtes (Palmer *et al.*, 1996). En 1944, une équation du déferlement de la vague à l'approche des côtes sableuses est proposée par Miche (Duval, 2007). En 1951, F. Biesel améliore cette équation et cerne précisément le point de rupture de la vague à l'approche des côtes en tenant compte de la pente de la plage (Duval, 2007). Un an plus tard, l'ingénieur propose une équation pour les vagues secondaires (Hamm, 1996). La même année, l'ingénieur anglais J. Darbyshire publie la première étude sur la génération de vagues à partir d'une analyse spectrale utilisant une équation différentielle, c'est-à-dire tenant compte du temps (Palmer *et al.*, 1996).

Les recherches de Lamblardie sur le transit sédimentaire, tout comme celles de ses successeurs sur la mise en équation du mouvement des vagues, avaient un objectif d'application directe et leurs réflexions s'inscrivaient à grande échelle spatiale pour répondre aux besoins d'aménagement et d'équipement de l'époque. Au contraire, les scientifiques se sont intéressés de manière plus générale à la dynamique terrestre en ouvrant le champ à une nouvelle discipline - la géomorphologie - pour étudier le processus de formation et d'évolution des reliefs. Ce domaine de recherche fondamentale nécessitait, tout comme la géologie dont elle est issue, un questionnement à petite échelle spatiale et sur la longue durée.

b. Contribution de la géomorphologie à une échelle plus petite : pour une vision d'ensemble

Les années 1888-1890 ont été très importantes dans l'explication de la formation des reliefs et de la dynamique terrestre, et ont véritablement lancé la géomorphologie comme discipline à part entière. En 1888, la théorie de l'eustatisme est proposée par E. Suess. Un an plus tard, C. Dutton expose le concept d'isostasie et W. Davis produit la première

démonstration complète du cycle de l'érosion permettant d'expliquer la formation du relief montagnard (Beckinsale *et al.*, 1991).

Parallèlement à la géomorphologie, l'océanographie a pris un réel essor avec l'expédition britannique *Challenger*, dont le navire a parcouru de 1873 à 1876 de nombreuses mers, éveillant un intérêt marqué des populations occidentales pour de nouvelles découvertes scientifiques sur l'origine et le comportement de ces immenses masses d'eau (Guilcher, 1983). En 1883, le marégraphe de Marseille, en adoptant le niveau moyen de la mer Méditerranée comme niveau zéro, a permis d'établir un cadre référentiel aux altitudes françaises. La volonté de mesurer avec une précision scientifique les phénomènes littoraux observés était née. Mais avant de pouvoir atteindre cet objectif, des intuitions, guidées par de solides observations ont permis d'imaginer des scénarios globaux sur la dynamique terrestre. C'est ainsi qu'en 1915, A. Wegener a avancé l'hypothèse de la dérive des continents. Ce dernier avait la profonde conviction que les océans n'étaient pas immuables mais avaient au contraire un cycle de vie. Pour étayer cette intuition, A. Wegener a confronté plusieurs observations : le parallélisme des côtes de l'Atlantique, les traces d'anciennes glaciations dans le sud de l'Afrique et de l'Amérique ou encore la correspondance des structures géologiques de l'Amérique du Nord et de l'Europe. Cette hypothèse était fondamentale pour les géographes du littoral puisqu'elle posait la question des marges océaniques, de leur comportement et de leur évolution.

Ainsi, au début du XX^e siècle, trois « disciplines » évoluaient en parallèle, faisant chacune référence à des échelles spatio-temporelles propres et ignorant les travaux des unes et des autres : l'océanographie, la géomorphologie académique et la « géomorphologie des ingénieurs », telle que la nommait J. Tricart (1968). Ce n'est qu'à partir des années 1950 qu'un travail de coordination s'est progressivement mis en place.

2. Le travail de coordination d'A. Guilcher

C'est A. Guilcher qui, le premier en France, a saisi l'importance de rapprocher les travaux des géographes de ceux des océanographes et des sédimentologues ou plutôt de se former aux techniques développées par ces derniers pour améliorer les connaissances sur le fonctionnement du littoral (Pinot, 2001). Dès 1951, dans un article intitulé « La mer fait reculer la côtes », le géographe conclut sur l'importance de la coordination des disciplines, mettant en avant leur complémentarité :

« En morphologie littorale comme dans les autres parties des sciences de la nature, l'avenir n'est pas au chercheur isolé possédant sur tout des notions d'ensemble ; il est aux équipes de travailleurs. [...] Ainsi peuvent-ils apporter, chacun dans leur branche, un faisceau de données précises, qu'ils regroupent ensuite, après entente et discussion en commun, en une synthèse collective. C'est le seul moyen d'éviter de tourner perpétuellement en rond autour des mêmes idées simplistes. Mais, à part quelques missions scientifiques où se trouvent groupées de telles équipes, on est loin en France, de cet idéal » (Guilcher, 1951).

Pour assouvir « *le besoin de voir clair* », ce passionné de la mer et du littoral a incité de nombreux géographes à développer une géographie de la mer, partant du principe que « *pour comprendre le fonctionnement du littoral, il [fallait] comprendre celui de la mer autant que celui de la terre, donc commencer par la description des fonds et des eaux* » (Pinot, 2001, p. 30). En somme l'objectif d'A. Guilcher était d'établir un lien entre les différentes échelles spatiales et temporelles utilisées par les disciplines précitées afin de développer sa propre analyse à différents niveaux scalaires, ce qui n'était pas chose courante vers les années 1950 (Godard, Vanney, Verger, *in* Guilcher, 1983). Le géographe de la mer a par exemple établi une démonstration convaincante du lien entre dispositifs morphostructuraux des plates-formes continentales, des mers épicontinentales et des cuvettes marines actives, en prenant pour exemple majeur les pourtours de la Mer du Nord (Godard, Vanney, Verger, *in* Guilcher, 1983 et cours non daté d'A. Guilcher sur « La formation de la mer du Nord, du Pas de Calais et des plaines maritimes environnantes »).

En 1954, le géographe publie *Morphologie littorale et sous-marine*, premier ouvrage faisant la synthèse des connaissances alors acquises¹. Cet ouvrage, qui a marqué plusieurs générations de géographes littoralistes et qui compte aujourd'hui encore parmi les références incontournables des cours de géographie du littoral, a d'ailleurs été présenté de façon très élogieuse par R. Musset en 1955 : « *Par l'ampleur de son information, par la précision des exposés, par son extrême clarté, ce livre est un chef-d'œuvre [...]* » (Musset, 1955, p. 575). La partie consacrée à la morphologie sous-marine est beaucoup plus restreinte que la première, dédiée à la morphologie littorale. L'auteur justifie cette asymétrie par la jeunesse des études en géomorphologie sous-marine dont les techniques de recherche sont à l'époque peu nombreuses et très coûteuses : « *L'importance respective des deux parties du volume nous paraît ainsi traduire à peu près l'avancement des travaux dans les deux zones [...]* ». En ce sens, A. Guilcher souhaite « *vivement que la partie sous-marine du présent travail soit très rapidement périmée, et que l'on puisse d'ici peu de temps donner [...] du relief sous-marin un tableau qui [...] sera beaucoup plus nourri et plus précis, comportant plus de faits contrôlés et moins d'hypothèses non vérifiées* » (Guilcher, 1954, p. 2). En ce qui concerne la morphologie littorale, cinq chapitres dressent un bilan des connaissances acquises jusqu'alors. Le premier chapitre décrit et explique les mécanismes en œuvre dans la dynamique littorale à l'échelle de l'estran et un peu au-delà :

- comportement et déformation des vagues à l'approche des côtes (les phénomènes de réflexion, de diffraction et de réfraction sont détaillés et schématisés p. 7)
- courants de houle, dérive littorale, courants de marée et courants d'arrachement (reprise et amélioration des travaux de F. P. Shepard (1941) et J. W. Davis (1925) (p. 10-14)
- rôle du vent et importance de l'échelle saisonnière dans l'alimentation et le démaigrissement des dunes et des plages (p. 16-17)
- l'érosion chimique et mécanique des falaises et des côtes basses est également décrite (p. 17-25)

¹ Guilcher A., 1954, *Morphologie littorale et sous-marine*, PUF, Paris, 216 p.

Le second chapitre offre une synthèse des déplacements des rivages sur le temps long et à petite échelle. Le troisième chapitre décrit largement les différentes formes littorales connues, en lien avec l'action de la mer. Les formes majeures et mineures des plages sont détaillées de même que le profil d'équilibre d'une plage et sa mobilité. Ainsi, on peut considérer que dès 1954, le fonctionnement général du littoral était connu et les zones d'alimentation et d'érosion des dunes et des plages déjà décrites.

Ce n'est qu'à partir de la fin des années 1980 que des travaux ont été menés pour tenter de quantifier les transports sédimentaires et préciser les facteurs à l'origine des phases de démaigrissement et d'accumulation des côtes sableuses (Régnault *et al.*, 2010). Le rôle des tempêtes et leur fort pouvoir d'érosion avaient déjà été observés, mais l'échelle du temps très court (celui de l'événement tempétueux) rapportée à une échelle ultra-locale ne permettait pas jusqu'alors d'expliquer pourquoi une portion de côte avait plus tendance à reculer qu'une autre et pourquoi d'autres portions, au contraire, faisaient l'objet d'une accrétion sédimentaire. En effet, plusieurs auteurs² ont montré « *qu'un littoral [s'alignait] souvent face aux houles dominantes alors que les directions de houles de tempêtes les plus fortes ne sont pas toujours celles des houles dominantes* » (Régnault *et al.*, 2010, p. 134). C'est pourquoi la théorie de la cellule sédimentaire, avancée entre autres par M. J. Bray, D. J. Carter, J. Hooke en 1995, a séduit de nombreux géomorphologues avant de devenir aujourd'hui incontournable. En considérant non plus l'échelle ultra-locale du profil d'une plage ou d'une dune, mais celle d'une unité sédimentaire réunissant des sources de production et de dépôt sédimentaire, il est désormais possible de renouveler la réflexion sur le rôle des tempêtes dans le façonnage des côtes sédimentaires et « *de donner les mêmes lettres de noblesse à l'espace qui recule qu'à celui qui progrède, les deux étant également nécessaires [...] à la mobilité naturelle d'un littoral* » (Régnault *et al.*, 2010, p. 145).

Cette progression des connaissances sur le fonctionnement dynamique du littoral a été permise par des avancées remarquables réalisées au cours des dernières décennies dans les techniques de mesures et de modélisation.

3. L'apport et l'évolution de la modélisation

Bien que reconnue comme incomplète, la modélisation est présentée comme « *une structure nécessaire pour construire, rendre intelligible une situation ou un projet* » (Morel *et al.*, 2011, p. 61). Or la modélisation - comme le concept même de modèle - doit beaucoup au travail des ingénieurs : « *pour formaliser [les choses], il faut réduire le réel à son squelette. [...] C'est ici qu'intervient la logique de l'ingénieur, la logique de celui qui répond à la question « comment ? »* » (Morel *et al.*, 2011, p. 54). Les ingénieurs anglais, français et néerlandais ont ainsi participé activement aux progrès de la modélisation.

² Carter et Orford, 1993 ; Forbes *et al.*, 1995, Anthony *et al.*, 1996 Orford *et al.*, 2002 cités dans Régnault *et al.*, 2010.

a. Le rôle des modèles physiques

Parallèlement aux travaux des mathématiciens et physiciens ayant cherché à mettre en équation le comportement des vagues dès la fin du XIX^e siècle, la modélisation physique n'a cessé d'évoluer au XX^e siècle pour vérifier et mieux visualiser ces résultats théoriques. Un des plus anciens laboratoires de modélisation physique est celui de Delft, créé en 1927 à l'initiative de J. van Veen, pour modéliser par exemple les conséquences de la fermeture du Zuiderzee. Les contours de cette mer intérieure vouée à être fermée, ont été reconstitués en une large maquette pour vérifier la modélisation mathématique basée sur les équations unidimensionnelles de Saint-Venant (Mosselman, 2004). Ce laboratoire, d'abord de taille modeste (il regroupait 2 ingénieurs, un charpentier et un maçon) a connu un véritable âge d'or lorsque décision a été prise en 1955 d'exécuter le plan delta de fermeture des estuaires zélandais (Mosselman, 2004).

En France, le premier modèle physique lié à l'hydraulique maritime date de 1940. Celui-ci reconstituait le port de Boulogne-sur-Mer en faisant appel au générateur de vagues, aussi appelé le batteur serpent, inventé par l'ingénieur F. Biesel (Sogreah, 2008). Sept ans plus tard est né le Laboratoire National d'Hydraulique (LNH). Il s'agissait d'un centre expérimental visant à mieux cerner les problèmes hydrauliques rencontrés dans les ports et pour la navigation (Hamm, 1996). En 1954, un département maritime d'hydraulique à part entière a été créé au sein du LNH. Un an plus tard, l'Institut Mécanique de Grenoble a fait un pas de plus en construisant une plate-forme capable de reproduire la propagation de la marée dans la Manche en tenant compte de la force de Coriolis, ce qui était absolument nécessaire à cette échelle de réflexion (Hamm, 1996). Au cours des années 1960, le principe de Bruun, relatif à l'adaptation du profil transversal d'une plage (en état d'équilibre sédimentaire) à une élévation du niveau de la mer, a été vérifié en laboratoire par le recours à un modèle réduit d'un nouveau genre : le canal à houle. Ce nouveau modèle avait pour objectif, non plus de reconstituer la propagation des vagues à la surface d'un plan d'eau mais de comprendre les mouvements en jeu à l'échelle de la tranche d'eau et du profil de plage (Paskoff, 2006).

De manière générale, deux types de modèle physiques ont été, et sont encore utilisés aujourd'hui : le bassin à houle et le canal à houle.

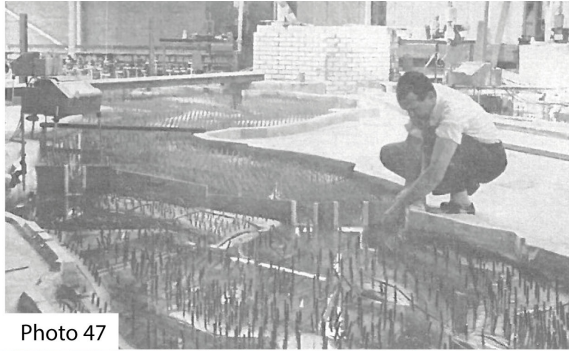


Photo 47



Photo 48

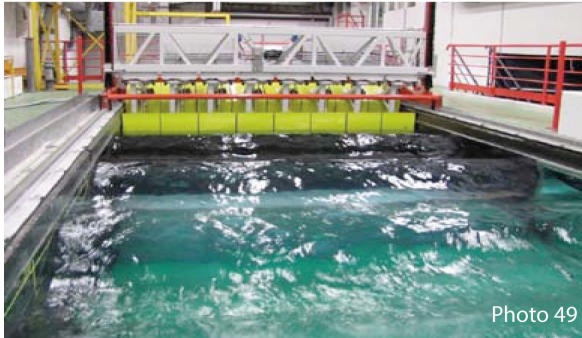


Photo 49

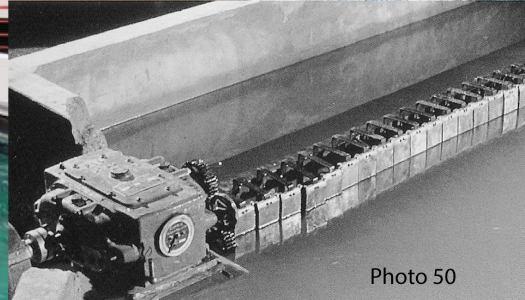


Photo 50

Photo 47 : Bassin à houle du laboratoire de Delft en 1935. *Source* : Rijkswaterstaat, 2005 ; **Photo 48** : Modèle réduit d'une portion de côte. *Source* : Deltares, 2009 ; **Photo 49** : canal moderne à houle. *Sources* : ifremer.fr ; **Photo 50** : Batteur serpent ou l'ancêtre du canal à houle. *Source* : Sogreah, 2008.

b. Les apports remarquables de la modélisation numérique

Lors d'un entretien, un ingénieur, formé à l'École Nationale des Ponts et Chaussées, a décrit les premiers mois qui ont suivi son embauche chez Sogreah en 1982 :

« lorsque je me suis présenté chez Sogreah avec mon projet de recherche sur la modélisation d'agitation portuaire, ils m'ont dit : « Tu as vingt ans d'avance ! On va t'apprendre notre façon de « faire » les vagues ! ». Ils m'ont alors appris de petites règles simples, et je me suis dit que j'avais fait sept années de mécanique pour en arriver là, pour qu'on me dise que de simples petites règles valaient toutes les équations que j'avais apprises ! Moi, je leur proposais un bassin à houle virtuel, numérique, que j'avais fait en 1979 en utilisant la programmation pour entrer toutes les équations que j'avais apprises dans un ordinateur. Mais en 1982, les bureaux d'ingénierie maritime n'étaient pas équipés de tels ordinateurs... »

La modélisation numérique consiste à programmer des modélisations mathématiques. Cette programmation a été rendue possible à partir des années 1950 par l'apparition des ordinateurs. Mais comme le mentionne cet ingénieur, il a fallu quelques décennies supplémentaires pour que ce type de modélisation, au départ extrêmement coûteux, puisse se généraliser. Grâce aux avancées simultanées en télédétection, lancée dès le début des années

1970³, et en informatique, les années 1980 « ont été marquées par une convergence des différentes approches [multiscalaires] du domaine littoral vers une analyse de plus en plus affirmée des interactions entre les agents dynamiques et les formes de relief » (Cohen et al., 2002, p. 191).

Bien que la notion de système littoral ait été déjà partagée par les scientifiques depuis le milieu des années 1970 et les entrées et sorties d'énergie tout comme celles des stocks de matériaux connues et admises, ces avancées technologiques ont permis de confirmer et de modéliser les hypothèses avancées. Ainsi, la morphodynamique littorale - définie par H. J. De Vriend comme l'expression du transport sédimentaire par la série de processus et d'ajustements permanents entre fluides et substrat meuble (De Vriend, 1991, in Cohen et al., 2002) - a fait l'objet de nombreuses modélisations depuis les années 1970. Trois modèles principaux ont été élaborés : les modèles morphodynamiques quantitatifs ou semi-quantitatifs (affinés alors par des observations visuelles) particulièrement utilisés pour une étude à très court terme, inférieure à un an ; les modèles du type *ISE* (*Initial Sedimentation Erosion models* ou « modèles de base de transport sédimentaire ») ou encore les *MT models* (*Medium Term Morphodynamics models*) employés à court et moyen termes ; enfin les modélisations de comportement des littoraux à macro-échelle (*LSCB : Large Scale Coastal Behaviour*) pour ce qui concerne le long terme, de l'ordre du siècle. Le type de modèle le plus couramment utilisé et largement décrit dans la littérature est le *MT model*. Ce modèle, principalement employé pour le suivi d'évolution des plages, présente en effet l'avantage d'obtenir des résultats à court terme. Le modèle *Genesis* a ainsi été développé par un groupe de chercheurs et ingénieurs américains dans le *Coastal Engineering Research Center* en 1989 et a connu un franc succès ces dernières années. Capable de prendre en compte les gradients de pente aussi bien que les gradients de sédiments de fond, les équations de réfraction et de dissipation de la houle, *Genesis* calcule des courants orbitaux et de dérive littorale pour en déduire les modalités latitudinales et longitudinales du transport sédimentaire. Cependant, ce modèle a été vivement critiqué par d'autres groupes de chercheurs et en particulier l'équipe de O.H. Pilkey. Ce dernier estimait que la connaissance fragmentée de paramètres tels la houle, la dérive littorale, les courants de retour, de turbidité ou encore les *up* et *downwellings*, ne pouvait prétendre remplacer la compréhension de l'action conjuguée de ces paramètres en se contentant de les additionner. De même, la topographie et le gradient granulométrique des sédiments de l'avant plage n'est que très rarement uniforme, or le modèle s'appuie justement sur cette uniformité. Par ailleurs les chercheurs rappellent que ce modèle d'ingénierie maritime reste calibré sur des maquettes de bassins à houle, construites sur la base de connaissances imparfaites et trop simplistes pour modéliser précisément les mouvements sédimentaires et permettre une prédiction correcte des conséquences de l'implantation d'ouvrages de défense par exemple.

Un autre système logiciel, *Telemac*, a proposé plus récemment différents modèles adaptés à la houle, à l'hydrodynamique ou au transport sédimentaire. Le modèle *Sisyphé* du système *Telemac* est particulièrement adapté au transport de sédiments et à la

³ Interview de Gérard Beltrando et Philippe Escudier dans l'émission radiophonique « Planète Terre » animée par Sylvain Kahn sur France Culture, le 30 septembre 2009.

morphodynamique. Contrairement au modèle *Genesis*, il prend en compte une granulométrie non uniforme en plus d'une irrégularité de la pente⁴ (MEEDDM, 2010).

Les modèles numériques présentent de gros avantages par rapport aux modèles physiques. Ils permettent par exemple d'isoler et d'étudier l'influence de tel ou tel facteur pris en compte dans le modèle. Ils présentent une souplesse de mise en œuvre et, en fonction de leur performance, peuvent intervenir à différentes étapes d'un projet. Ils évitent des erreurs de mesure et leurs résultats sont facilement stockables etc. En revanche, les connaissances encore insuffisantes sur le comportement des zones de déferlement ou encore sur les processus de mise en mouvement des sédiments sont autant de points faibles qui ne doivent pas être négligés (MEEDDM, 2010). C'est pourquoi l'utilisation complémentaire des modèles physiques, dont la simulation des mécanismes est continue dans le temps et dans l'espace et dont l'interaction entre les différents facteurs pris en compte est naturelle, est toujours d'actualité (Hamm *et al.*, 2006).

Le développement de ces nouvelles technologies a permis de grandes avancées dans la compréhension du fonctionnement du littoral. Toutefois, cette compréhension est loin d'être complète. Les scientifiques mettent en garde contre l'utilisation hors contexte et excessive de la modélisation en insistant sur le procédé de simplification qu'elle suppose et qui ne peut être pleinement satisfaisant. Ils insistent donc sur la nécessité des suivis morphosédimentaires qui « *apportent des éléments quantitatifs d'une grande valeur puisqu'ils résultent d'observations sur site, et non d'une représentation imparfaite de la réalité physique. [Ces derniers] sont particulièrement efficaces lorsque le littoral est très diversifié, cas le plus fréquent en France, car les modèles demeurent incapables de rendre compte de cette forte variabilité spatio-temporelle* » (MEEDDM, 2010, p. 153). C'est pourquoi la multiplication des échanges entre scientifiques et ingénieurs doit aussi être encouragée.

B. Amélioration des échanges entre scientifiques et ingénieurs

1. Le savoir des géomorphologues et des ingénieurs se construit en parallèle jusque dans les années 1980

Au tournant des années 1970, les introductions des cours de géomorphologie du littoral dispensés à l'université et à l'École des Ponts et Chaussées faisaient ressortir une différence majeure liée à l'objectif même des enseignements. André Guilcher, dans l'avant-propos de l'édition de 1965 du *Précis d'hydrologie marine et continentale*, adresse d'emblée l'ouvrage aux géographes et précise que ce dernier « *écarte volontairement les notions et questions proprement techniques, ainsi que l'ensemble de l'appareil mathématique, indispensables, certes, aux progrès de ces disciplines, mais non nécessaires en général à la présentation des résultats acquis. [...] Le géographe doit se mettre au courant de bien des choses, les grands faits de l'hydrologie sont de celles-là, et c'est pour lui et dans un esprit géographique que*

⁴ Pour une vision d'ensemble et détaillée des types de modèles utilisés ces dernières années, se reporter au paragraphe consacré aux outils de suivis (p. 153-188) de l'ouvrage commandé par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, 2010, *La gestion du trait de côte*, Éd. Quae, Versailles, Collection Savoir faire 290 p.

nous avons écrit ce livre » (Guilcher, 1965, p. V). Le propos de l'ouvrage était donc d'offrir une synthèse des connaissances de l'époque en matière d'hydrologie marine pour permettre une compréhension globale de la dynamique des océans, des mers et de leurs marges littorales. Si le fonctionnement des vagues est évidemment traité, « *l'esprit géographique* » de l'ouvrage se lit à travers les différentes échelles spatiales et temporelles envisagées, allant de la composition chimique de l'eau de mer aux courants généraux des masses océaniques d'une part, de la période des marées aux oscillations séculaires du niveau marin d'autre part.

En 1970, J. Chapon, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées assurant les cours de travaux maritimes dans l'illustre École, offre une toute autre introduction dans le chapitre consacré à la morphologie côtière : « *Les éléments de sédimentologie marine présentés ici concernent les évolutions des sédiments côtiers sous l'effet de la mer, dans le but pratique de prévoir les conséquences, sur un littoral, de l'installation d'un ouvrage artificiel* ». Tout en précisant que l'analyse statistique à des fins de modélisation constituait l'objet principal du cours, J. Chapon précise que « *l'échelle des fluctuations [littorales] dans l'espace et dans le temps se situe à l'échelle humaine* » (Chapon, 1970, p. 73). Ces deux introductions mettent en avant les différences de point de vue entre géographes et ingénieurs : les premiers avaient jusqu'alors pour objectif de comprendre le fonctionnement global du littoral sans souci particulier d'une application quelconque des savoirs acquis alors que les seconds réduisaient d'emblée le champ de ces savoirs pour ne retenir que les connaissances directement applicables en matière d'aménagement et d'équipement du littoral. Bien que déjà mentionnée à l'époque par certains géographes - tel J. Tricard en 1968 : « *la géomorphologie académique [...] ignore les travaux des praticiens, qui se placent à une tout autre échelle [...] : les ingénieurs, aux petites dimensions, temporelles et spatiales, les géologues, aux grandes* » (Tricard, 1968, p. 23) – cette ignorance mutuelle des deux points de vue a persisté pendant encore plusieurs années, en France, comme en Angleterre.

Ainsi, en 1977, A. R. Collins, ingénieur, membre de l'*Institution of Civil Engineers*, se préoccupait également du manque de communication entre scientifiques et ingénieurs et regrettait que l'Angleterre ait, pendant trop longtemps, négligé les apports d'un échange entre les deux professions, idolâtrant l'une au dépend de l'autre selon les époques :

« Au milieu du XIX^e siècle, les succès de l'ingénierie anglaise rendait la Grande-Bretagne euphorique, mais le pays n'appréciait pas à sa juste valeur l'importance des avancées scientifiques pour l'industrie. [...] Au milieu du XX^e siècle, les succès scientifiques ont plongé la Grande-Bretagne dans un état euphorique. Le pays a concentré ses meilleurs scientifiques dans les aires restreintes de la haute technologie et n'a pas su maintenir les progrès d'une ingénierie classique. [...] Il semble que nous n'avons pas la capacité à penser en même temps au développement des sciences et de l'ingénierie⁵ » (Collins, 1977, p. 192)

⁵ « *In the middle of the 19th century, Britain was in a state of euphoria about its success with engineering, but failed to appreciate the industrial importance of current scientific advances. [...] In the middle of the 20th century, Britain was in a state of euphoria about its success with science. It concentrated its best scientific and technical resources into limited areas*

Si les ingénieurs anglais ont dû faire face au cours des dernières décennies à une certaine déconsidération comme l'évoque l'extrait ci-dessus, leurs homologues français et néerlandais semblent au contraire avoir dominé le discours naissant sur l'environnement et par conséquent les pratiques d'aménagement du territoire. Cette distinction entre le cas anglais et les cas français et néerlandais trouve son origine dans des différences culturelles. Ainsi, le mépris affiché par l'aristocratie anglaise pour les sciences de l'ingénieur dès leur établissement au XVIII^e siècle, contrastait avec le prestige des diplômes délivrés en France par l'École des Ponts et Chaussées, et l'École Polytechnique. Aux Pays-Bas, la nécessité historique de se protéger contre les submersions marines a octroyé d'emblée une forte reconnaissance aux ingénieurs, garants de la préservation du pays tout entier. Peter Leroy mentionne ainsi les changements accomplis aux Pays-Bas ces dernières quarante années, en partie permis par l'interdisciplinarité. Selon l'auteur, celle-ci « *constitue un changement majeur par rapport au début des années 1970, lorsque les ingénieurs, les chimistes et les médecins dominaient largement la discussion sur l'environnement, et que les chercheurs en sciences sociales devaient se battre pour prendre part au débat* » (Leroy, 2004, p. 279). En 2002, F. Verger constate pour le littoral français que « *les ingénieurs n'ont peut-être plus une part prépondérante dans beaucoup d'études : ils ont les données, les programmes informatiques permettant de traiter les questions, mais quand il s'agit de voir les installations humaines, les communautés territoriales, l'apport des géographes devient très utile* » (Verger, in Baron-Yellès *et al.*, 2002, p. 18). Les deux auteurs mettent donc en relief la fin d'une ère d'aménagement du littoral dominé exclusivement par la technique et la naissance d'une ère de gestion côtière ouverte à la concertation et la pluridisciplinarité.

2. Une construction progressive de l'interdisciplinarité

D'une façon générale, il semblerait que les chercheurs aient su s'approprier les progrès technologiques et utiliser rapidement les nouveaux outils de mesures issus de l'ingénierie pour améliorer leurs connaissances théoriques sur le fonctionnement du littoral. En revanche, les ingénieurs n'ont pas su ou pu s'emparer aussi rapidement de l'intégralité des connaissances scientifiques en la matière. Doit-on voir en cela un manque d'intérêt de ces derniers pour des résultats scientifiques abstraits, conditionnels et difficilement applicables, ou une réticence des scientifiques à communiquer de façon suffisamment large leurs résultats et à s'engager dans le champ de la recherche appliquée en transformant des connaissances théoriques en outils de gestion ? Plus qu'un manque d'intérêt réciproque, c'est sans doute l'appréhension d'une perte potentielle de pouvoir des uns sur les autres liée à l'ampleur du mouvement « vert », qui peut expliquer le manque de communication entre ces professionnels. Il est en effet *a priori* plus confortable d'évoluer dans sa propre sphère, en terrain connu, que de travailler en concertation, et d'admettre ainsi une démarche délicate de remise en question permanente.

of high technology and failed to maintain progress in ordinary engineering. [...] We do not seem to have the ability of being able to think about science and engineering at the same time »

a. Les géographes tentent de se rapprocher des ingénieurs

La construction de l'interdisciplinarité - essence même des sciences environnementales et qui a fortement contribué à l'amélioration des échanges entre ingénieurs et scientifiques - s'est réalisée de plusieurs façons, au travers d'initiatives personnelles et professionnelles, mais aussi par la structuration politique et financière du mouvement « vert » à l'échelle européenne. Ainsi, certains scientifiques ont cherché à se rapprocher des ingénieurs en introduisant plus de technique à leur réflexion, afin d'être mieux compris et entendus par ces derniers. C'est, entre autres exemples, la démarche qu'a suivie F. Verger dès le début de sa carrière : « *La thèse d'Albert Demangeon sur la Picardie, les thèses de Louis Papy sur les littoraux d'entre Loire et Gironde ont été riches d'enseignements pour moi. [...] Il s'agissait de présentations intelligentes, synthétiques, critiques de ces milieux sans qu'il y ait véritablement de mesures. Je souhaitais introduire des mesures dans ces domaines* » (Verger, in Baron-Yellès et al., 2002, p. 12). Le géographe a très tôt saisi l'intérêt de la statistique et s'est employé non seulement à la développer dans ses travaux de recherche, mais aussi à l'enseigner. Par ailleurs, certains postes occupés par F. Verger présentaient également pour le géographe des opportunités d'échanges interdisciplinaires à saisir et à encourager :

Dans beaucoup de cas vous étiez « le géographe » dans des comités réunissant d'autres scientifiques. Quel bilan tirez-vous de ces expériences ?

[...] j'ai été membre du conseil d'administration de l'IGN où j'essayais de représenter le côté universitaire auprès des ingénieurs, pas toujours avec beaucoup de succès il faut bien le dire. J'ai aussi accepté des responsabilités où je pouvais faire jouer un aspect géographique, comme au Bureau de recherche géologique et minière. J'ai été collaborateur au service de la carte géologique et je me suis efforcé d'introduire dans les cartes que j'ai rédigées les effets de l'homme, notamment dans la carte de l'Aiguillon-sur-Mer [...]. Là encore, je pensais qu'il ne fallait pas voir seulement les choses du point de vue de l'ingénieur, mais que les géographes doivent accepter de participer » (Verger, in Baron-Yellès et al., 2002, p. 18).

b. Les ingénieurs ouvrent leurs portes aux scientifiques

En Angleterre, l'ouverture progressive, mais néanmoins tardive, des colloques de *Institution of Civil Engineers* à d'autres disciplines montre par ailleurs la volonté des ingénieurs de génie civil de collaborer avec les universitaires. Ainsi, à partir de la fin des années 1980, les colloques de *ICE* ont présenté des communications réunissant océanologues et ingénieurs, et au tournant des années 2000, un nombre croissant d'environnementalistes provenant de *Natural England* ou du *Centre for Environment* apparaît dans la liste des participants.

Outre-Manche, les *Journées Nationales du Génie Côtier – Génie Civil* ont progressivement accueilli des universitaires, géographes, sédimentologues ou environnementalistes. Le *Centre Français du Littoral*, à l'origine des publications de ces

journées de recherche, affichait dès sa création en 1972 quatre objectifs principaux : 1/ la promotion des études et des recherches scientifiques ou techniques dans les domaines de la protection des sites marins, de l'aménagement du littoral, de l'exploitation de la flore et de la faune marines ; 2/ la recherche de solutions visant à la protection de l'environnement et la mise en valeur ou le développement productif des ressources ; 3/ l'amélioration de la concertation entre organismes et établissements liés à la mer ; 4/ l'optimisation de la communication par le biais de publications ou conférences régulières. Toutefois, si de nombreux organismes ont été intégrés à la réflexion menée, nombre d'entre eux relevaient principalement du génie civil jusqu'au milieu des années 1990. L'ouverture à la pluridisciplinarité a donc été lente et tardive, mais le mouvement d'intégration d'autres disciplines, appartenant aux Sciences Humaines et Sociales, n'a cessé de s'amplifier au cours des dernières années. Ainsi, la Société Hydrotechnique de France (domaine d'ingénierie par excellence couvrant trois thématiques l'eau et l'environnement, l'hydraulique maritime, côtière et fluviale, la mécanique des fluides et ses applications industrielles), a lancé en 2013 le *Prix Eau et Société Pierre Massé*, destiné à récompenser des travaux innovants en Sciences Humaines et Sociales appliquées au domaine de l'eau. Ce prix s'adresse aux géographes, aux historiens, aux archéologues, aux anthropologues, aux juristes, aux économistes ou encore aux psychologues. Il montre l'importance désormais officiellement accordée aux Sciences Humaines et Sociales par la SHF, puisqu'il rejoint les trois autres prix annuels relevant de l'ingénierie : le Prix d'hydrologie, le Prix de mécanique des fluides et le Grand Prix d'hydrotechnique.

c. La consolidation de l'interdisciplinarité par les programmes de recherche européens

Ces échanges interdisciplinaires de plus en plus nombreux ont également trouvé une résonance à l'échelle européenne en empêchant, « *malgré la situation de pouvoir détenue par certaines disciplines traditionnelles et leur domination actuelle dans certains domaines environnementaux (ingénierie, météorologie, économie), [...] qu'une discipline ou une communauté scientifique unique puisse prétendre au monopole de la compétence environnementale, et que les organismes gouvernementaux puissent concevoir des programmes monodisciplinaires de recherche environnementale* » (Leroy, 2004, p. 279). Les premiers appels d'offre lancés pour promouvoir le développement européen date de 1989. Le programme pluridisciplinaire MAST (*Marine Science and Technology*) a été le tout premier dans le domaine maritime. Étala sur dix ans, ce programme avait pour but de fournir les bases scientifiques pour une exploitation durable des systèmes marins et de déterminer le rôle de ces derniers dans les changements globaux⁶. Il possédait trois volets distincts : *les sciences marines* et la volonté de comprendre les processus qui régissent les systèmes marins, *la recherche marine stratégique* c'est-à-dire le développement de concepts de gestion et de protection et enfin *la recherche dans les technologies marines*. L'Europe offrait ainsi un cadre idéal pour renforcer l'interdisciplinarité en dépassant les frontières. Bien évidemment, les colloques interdisciplinaires et internationaux existaient déjà, mais la structuration politique et financière de la recherche européenne a permis à des ingénieurs de nationalités diverses de

⁶ <http://cordis.europa.eu/mast>

réfléchir et travailler ensemble avec d'autres disciplines sur des projets de recherche pluriannuels, ce qu'un colloque ne permet pas. Cet ingénieur français a exprimé avec un enthousiasme intact l'intérêt qu'il voyait à l'époque dans cette nouvelle forme de programmes de recherche :

- *À un moment, c'était en 1989, mes patrons m'ont dit : Voilà, il y a un programme de recherche européen. Est-ce que ça t'intéresse ?*

- *Qu'est-ce que c'est un programme de recherche européen ??*

- *Ohhh... voilà, c'est nouveau. C'est la Commission européenne qui a décidé de promouvoir le développement de l'Europe, donc ils lancent des appels d'offre européens. Et il y en a un dans le domaine maritime.*

- *Est-ce qu'il y aura des Hollandais ?*

- *Oui, il y aura des Hollandais, des Danois, des Anglais et des Espagnols.*

- *Super !*

Et je me suis retrouvé pour dix ans dans le projet de recherche européen MAST, de 1989 à 1999. Et alors là, c'était extraordinaire !! J'ai rencontré les fameux Professeurs hollandais et j'ai commencé à les interroger...⁷

Ce qui est également intéressant est l'évolution des appels d'offre durant cette décennie 1990. La première période du programme (MAST I) s'intitulait « *Coastal Morphodynamic processes and modelling* » et correspondait à un travail principalement orienté vers la mécanique des fluides. Le troisième projet de ce programme (MAST III) a considérablement élargi la problématique de départ en intégrant une dimension humaine jusque là absente. Il s'intitulait « *Shore Nourishment in Europe* ». À la fin des années 1990, l'équipe de recherche s'est donc ouverte aux sciences humaines et sociales et s'intéressait non plus uniquement à la modélisation, mais à la place de la modélisation dans la gestion du littoral. La différence était grande et les objectifs de travail renouvelés.

Depuis lors, les programmes de recherche européens dans le domaine littoral n'ont cessé de renforcer cette dimension humaine. Le projet *Safecoast* par exemple, lancé en 2000 et relevant du programme INTERREG IIIB sur la Mer du Nord, posait la question de départ suivante : *Comment voulons-nous gérer les côtes de la Mer du Nord pour l'horizon 2050 ?*⁸ L'accent était mis sur les approches envisagées, la variété des contextes et ainsi la confrontation des idées et méthodes de gestion des uns et des autres. À l'issue de ce projet, le programme ENCORA a pris le relais en 2006 en insistant de nouveau sur l'importance de la

⁷ Extrait d'entretien réalisé en France en novembre 2012

⁸ *How to manage our North Sea coasts in 2050 ?*

dimension humaine à travers trois objectifs principaux : 1/ remédier au problème encore trop prégnant de fragmentation entre recherche scientifique, politique et pratiques de gestion côtière, 2/ améliorer la communication entre ces trois secteurs, 3/ encourager l'approche pluridisciplinaire dans la recherche de solutions de gestion du littoral. Ces trois thèmes ont en effet été identifiés comme étant les causes principales de la stagnation à la mise en œuvre de la GIZC adoptée en 2002 (Prieur, 2009).

3. L'importance de l'environnement immédiat de travail : le rôle des collègues

Cette augmentation des échanges entre scientifiques et ingénieurs européens ne saurait toutefois masquer une réalité bien ancrée : l'influence de l'environnement proche de travail. En effet, au cours des entretiens effectués dans les trois pays, une même question a été posée à chaque personne rencontrée : « Parmi les scientifiques (chercheurs, ingénieurs, experts...), pouvez-vous citer une personne qui a fait évoluer votre vision de la gestion du littoral ? ». Le tableau suivant présente la variété des réponses formulées.

Formation initiale des personnes ayant répondu à la question	Caractéristiques des personnes citées				
	Nb cité	nationalité	profession	collègue	A une vision globale de la gestion côtière
ANGLETERRE					
Ornithologue	1	UK	Géomorphologue	Non	Oui
Ingénieur civil	2	UK	Ingénieurs	Oui	/
Ingénieur	1	UK	Géomorphologue	Non	Oui
Ingénieur civil	2	UK	Géomorphologue + écologue	Oui	Oui (1 sur 2)
Géomorphologue	1	UK	Ingénieur	Oui	Oui
PAYS-BAS					
Architecte paysager	3	NL	Architecte + ingénieurs	Oui	/
Ingénieur civil	3	NL	Géo. Physicien + Géomorphologue + ingénieur	Oui	Oui (3 sur 3)
Physicien	2	NL + Danois	Ecologue + ingénieur	Oui	Oui
Écologue	5	NL	2 Ecologues + 2 ingénieurs + biologiste	Non	Oui (2 sur 5)
Ingénieur civil	2	NL + Fçais	Ingénieurs	Oui	Oui (1 sur 2)
FRANCE					
Économiste	2	Fce	Enarque écologue + écologue	Non	Oui (2 sur 2)
Ingénieur civil	1	Fce	Géographe	Oui	/
Juriste	3	Fce	Géographes	Oui	/
Géographe	1	Fce	Ecologue	Oui	Oui
Géographe	1	Fce	Géographe	Oui	/
Ingénieur civil	2	NL	Ingénieurs	Non	/
Génie côtier	1	Fce	Ingénieur	Oui	Oui
Ingénieur civil	1	Fce	Ingénieur	Oui	/
Géographe	1	Fce	Géographe	Non	Oui
Total	35 pers.			23 Oui	16 Oui

Tableau 18 : synthèse des réponses à la question : « Parmi les scientifiques (chercheurs, ingénieurs, experts...), pouvez-vous citer une personne qui a fait évoluer votre vision de la gestion du littoral ? »

Plusieurs points communs peuvent néanmoins être relevés. Plus que la formation initiale, c'est avant tout l'environnement professionnel qui a une influence prépondérante sur les réponses formulées : la majorité des personnes rencontrées, qu'elles soient ingénieurs ou scientifiques, a mentionné prioritairement des collègues : sur 35 personnes citées, 23 sont des collègues. Ceci montre l'importance d'un recrutement élargi permettant cette interdisciplinarité. En effet, des ingénieurs ont pu mentionner des personnes ayant suivi une formation initiale tout à fait différente de la leur : sur les 8 ingénieurs ayant répondu à la

question, 4 ont cité des non ingénieurs. De même sur 10 non ingénieurs, 4 ont cité un ingénieur comme personne ayant fait évoluer leur vision de la gestion du littoral. Cette ouverture ressort néanmoins de façon plus nette en Angleterre et aux Pays-Bas qu'en France où seul un ingénieur a mentionné un non ingénieur.

Par ailleurs, les choix ont principalement été justifiés par la capacité des personnes citées à offrir une réflexion globale des problèmes de gestion du littoral et à comprendre les points de vue de l'ensemble des disciplines. En d'autres termes, il s'agissait de personnes qui pouvaient comprendre les points de vue de chaque discipline et donc en qui les personnes interrogées avaient confiance.

Cet intérêt pour une approche pluridisciplinaire et multiscalaire de la gestion du littoral a également fait l'objet d'une évolution, récente toutefois, de la formation initiale des ingénieurs. Celle-ci mérite une attention particulière car elle contribue à expliquer l'effet générationnel constaté entre le discours d'ingénieurs retraités ou en fin de carrière et celui de jeunes diplômés.

II. Une évolution récente du contenu de la formation initiale des ingénieurs

Devenir ingénieur suppose une solide et incontournable formation scientifique et technique. Le socle commun à toutes les formations d'ingénieurs du génie civil, qu'elles soient françaises, néerlandaises ou anglaises, comporte, au moins depuis les années 1950⁹, des cours de mécanique, d'hydraulique, des cours sur les structures, les matériaux, soutenus par un cursus approfondi en mathématiques, en physique et en chimie. Ces enseignements ont permis aux futurs ingénieurs en charge de l'aménagement et la gestion du littoral de modéliser de façon de plus en plus précise les dynamiques littorales, d'affiner le dimensionnement des ouvrages de protection tels les épis ou les digues pour enfin réaliser des prouesses technologiques dont les barrages du Plan Delta. En somme, l'objectif final de ces cours était de donner la capacité aux ingénieurs du littoral de protéger les populations, les activités et les biens des submersions marines ou de l'érosion. Un défi que les ingénieurs civils de l'époque ont su relever brillamment aux Pays-Bas en particulier. Pourtant, l'approche techniciste, née de la révolution industrielle et largement mise en avant depuis lors dans la résolution des problèmes d'aménagement, a fait l'objet d'une critique environnementale et sociale croissante. Les écoles et universités formant des professionnels capables de répondre aux besoins vitaux des sociétés¹⁰ se sont donc adaptées à cette nouvelle attente.

Les formations retenues pour mener cette analyse et faire ressortir d'éventuelles évolutions ont été choisies en fonction des parcours des ingénieurs rencontrés. Ainsi, en France, nombre d'entre eux ont été formés à l'École Nationale des Travaux Publics de l'État (ENTPE) et à l'École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC). Aux Pays-Bas, l'équivalent de cette dernière se retrouve dans l'Université Technologique de Delft, créée en 1848. En

⁹ Les archives des programmes de formation de l'Université Technologique de Delft et de l'École Nationale des Ponts et Chaussées ont pu être analysées à partir des années 1950.

¹⁰ Définition proposée par l'Institution of Civil Engineers

Angleterre, la comparaison a été plus difficile. Si l'Université de Southampton ou *Imperial College* figurent parmi les universités scientifiques les plus renommées et font l'objet de partenariats avec l'ENTPE ou l'ENPC, celles-ci n'ont été que très peu mentionnées dans les parcours des ingénieurs anglais rencontrés. En somme, il n'existe pas une seule et unique formation équivalente à celles mentionnées ci-dessus et le système de formation des ingénieurs anglais ne peut se réduire au nom d'une université. En effet, pour obtenir le titre de *Chartered Engineer*, les ingénieurs anglais, quelle que soit leur formation initiale, doivent justifier de quatre années d'expérience professionnelle généralement accompagnées de cours théoriques et sanctionnées par un examen écrit et un oral présenté devant un jury composé exclusivement de *Chartered Engineers*, membres de l'*Institution of Civil Engineers* (ICE). Ainsi, l'analyse de l'évolution d'une formation en particulier n'aurait pas fait sens, d'autant plus que l'ensemble des ingénieurs rencontrés en Angleterre présentait un éventail très large de formation initiale, sans faire ressortir une université en particulier. En revanche, il a été possible de consulter les archives des actes des colloques de l'ICE depuis 1953. L'évolution du contenu des communications et des mots clés employés a donc permis de pallier ce manque et de comprendre l'évolution des préoccupations des ingénieurs du génie civil. Parmi les formations et communications de l'ICE retenues pour mener cette analyse, deux champs principaux d'évolution ont été retenus : celui de l'environnement et de la communication.

A. Évolution des enseignements dans le champ de l'environnement

En France, le poids des mathématiques dans le cursus de formation des futurs ingénieurs est régulièrement remis en question, notamment par les journalistes. Un article du journal *Le Monde* datant de 2011 titrait ainsi : « *Polémique autour de la formation à la française des ingénieurs : trop de maths, trop peu de sciences de l'ingénieur, le cœur du cursus des grandes écoles fait débat* ».



Figure 29 : le cursus de formation des ingénieurs français trop éloigné des réalités sociales ? Source : B. Floc'h, *Le Monde*, 28/02/2011.

Pourtant il semblerait qu'en France, comme aux Pays-Bas, les formations dédiées au génie civil s'ouvrent progressivement aux sciences environnementales.

1. Évolution de l'enseignement en France : cas de l'ENPC et de l'ENTPE

a. L'École Nationale des Ponts et Chaussées : pour une formation généraliste des ingénieurs.

Les premiers cours liés à l'environnement sont apparus dans les années 1970. En 1974, l'ENPC propose ainsi un enseignement spécialisé intitulé *Environnement Eau-Atmosphère* dont la teneur peut se résumer à l'époque à de l'écologie fluviale. La pollution croissante des rivières pose de sérieux problèmes et amorce le début d'une autre réflexion qui prend en compte « *les liens entre l'eau et son milieu ambiant [faisant] de cette ressource une matière vivante indissociable de son environnement* »¹¹. L'on peut voir dans l'apparition de ces enseignements les conséquences, avec dix ans de décalage néanmoins, de la loi sur l'eau de 1964. En 1977, cet enseignement est renforcé et offre plusieurs champs d'application ainsi que différentes échelles de réflexion : éléments d'écologie fluviale (« *aménagement intégré d'un bassin prenant en compte les objectifs liés à l'environnement* »), conséquences de la pollution des eaux (« *évaluation de la dispersion, de la dégradation ou du dépôt des polluants et effluents rejetés en milieu marin et estuarien* »)¹². En 1983, une section *Écologie et environnement* se met en place et se transforme deux ans plus tard en une section *Gestion intégrée des milieux naturels*. Cette évolution semble offrir une transition remarquable dans l'approche des problématiques territoriales, rendant incontournable la prise en compte de la complexité c'est-à-dire l'intégration de facteurs environnementaux et sociaux aux solutions techniques envisagées. Pourtant, un entretien réalisé à l'ENPC relativise quelque peu cette évolution affichée il y a trente ans :

*« À ma connaissance, il n'y a pas de formation spécifique sur ce sujet [la gestion du littoral], car il n'y a pas non plus de vrai marché si je peux dire. C'est un marché de niche. [...] Au fond la question des digues, pour nous, n'est pas un enjeu, parce que ce n'est pas un véritable enjeu technique ! La digue n'est pas un objet technique très compliqué »*¹³.

En résumant indirectement la question de la gestion du littoral à l'ouvrage de la digue, ce discours montre que la complexité et la recherche de solution de gestion dite intégrée ne semble pas évidente.

D'une manière générale, la direction de l'ENPC s'appuie sur deux principes pour répondre à la demande de formation sur les problématiques environnementales. D'une part, celui de former des ingénieurs généralistes « *qui sauront lier les aspects techniques,*

¹¹ Programme de formation de l'année 1974/1975

¹² Programme de formation de l'année 1977/1978

¹³ Extrait d'entretien réalisé avec le responsable de la formation de l'ENPC

financiers, économiques, sociaux et environnementaux des projets »¹⁴. L'École cherche à développer l'auto-apprentissage dans la formation qu'elle propose : « *Progressivement, on leur rappelle que, de toute façon, ils continueront à s'autoformer en permanence* ». D'autre part, le principe de curiosité personnelle :

*« [...] je pense que nos ingénieurs sont capables de comprendre assez rapidement le monde local dans lequel ils sont plongés. Ils vont être amenés à être capable de s'y insérer, par des formations à travers des projets pluridisciplinaires [...]. Nous insistons beaucoup pour qu'ils restent curieux. Ils n'ont peut-être pas été curieux pour les questions d'écologie au départ, mais ils peuvent ensuite le devenir »*¹⁵.

Cet apprentissage de l'autonomie a par ailleurs été confirmé par un ingénieur formé à l'ENPC :

« Le point fort de l'École je pense, c'est de m'avoir permis de déployer mes capacités intellectuelles. J'ai trouvé qu'il y avait une grande autonomie. C'est-à-dire qu'on n'était pas dans des exercices scolaires comme ce que j'avais connu jusqu'au concours. On était libre de choisir ses sujets [...] et donc dans un mode d'apprentissage proche de la vie active ».

Les nuances observées entre plaquettes de formation et discours sur la formation ne doivent toutefois pas masquer un intérêt prononcé, dès la fin des années 1980, des élèves de l'ENPC pour les questions environnementales. Sans rejeter bien évidemment les autres disciplines classiques du génie civil, les élèves en doctorat ont montré un enthousiasme croissant pour les sciences environnementales qui peut se mesurer à l'évolution du nombre d'élèves-chercheurs ayant choisi ce domaine pour mener une thèse. Le domaine de l'environnement montre par exemple la croissance la plus forte entre 1988 et 1989, passant de 1 à 7 élèves-chercheurs (Tabl. 19). Malheureusement, la présentation des programmes annuels de formation des années suivantes ne reprend pas cette information. Il n'a donc pas été possible d'établir de tendance sur plusieurs années.

¹⁴ Extrait de la lettre de Pierre Veltz, « Pourquoi une « nouvelle » École des Ponts ? », lors de la redéfinition du projet stratégique en 2000, in N. Goujon & J. Odinet, 2007, *l'École des Ponts 1960-2000, une école en mouvement*, Presse de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, p. 166.

¹⁵ Extrait d'entretien réalisé avec le responsable de la formation de l'ENPC

Domaine de recherche	1988	1989
Matériaux, structures et géotechnique	17	19
Environnement	1	7
Bâtiment	3	6
Transports	5	4
Mathématiques, informatique	6	5
Urbanisme, aménagement	4	2
Economie, sciences sociales	1	0
Géologie de l'ingénieur	2	2
Mécanique des fluides	1	1
Nombre total d'élèves-chercheurs	40	46

Tableau 19 : Répartition des nouveaux élèves-chercheurs de l'ECPN par domaine.

Sources : archives des programmes de formation 1990-1991.

Toutefois, l'évolution des secteurs d'emploi pour les ingénieurs civils formés à l'ENPC, de plus en plus tournée vers l'industrie des nouvelles technologies à la fin des années 1970 puis vers les banques et la finance depuis la fin des années 1980 (Fig. 30), peut laisser penser que le domaine de l'environnement n'offre pas encore de débouchés professionnels suffisamment solides pour ces élèves. Les données relatées dans l'ouvrage de N. Goujon et J. Odinet *L'École des Ponts : 1960-2000, une école en mouvement*, ne vont pas au-delà de l'année 2000 et la consultation d'archives récentes n'a pas permis de confirmer cette tendance pour les années 2000-2010. Mais l'absence de données ou d'un simple questionnaire sur d'éventuels débouchés dans le domaine de l'environnement inciterait à confirmer cette croyance.

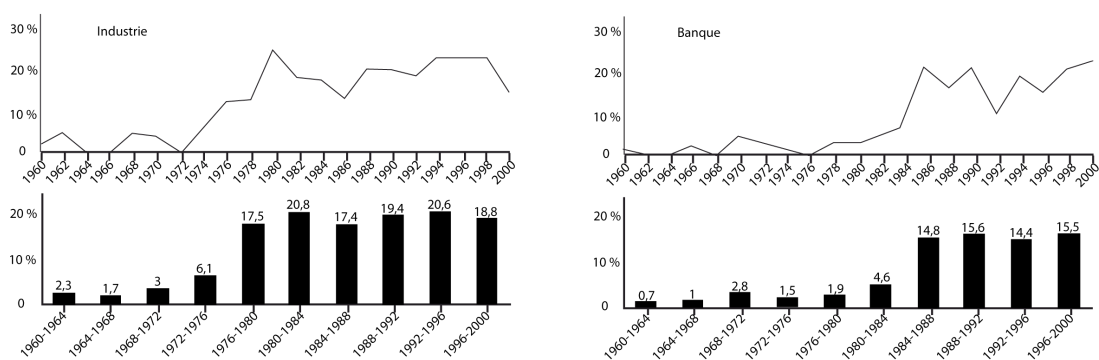


Figure 30 : évolution des débouchés dans le domaine de l'industrie et de la banque pour les diplômés d'ingénierie civile de l'ENPC. Source : Goujon et al., 2007.

La répartition des ingénieurs du corps a par ailleurs également évolué. Si la majorité des ingénieurs formés (près de 80 %) se dirige vers le ministère de l'Équipement pour un premier poste, la tendance a diminué au cours de la décennie 1990 : les X-Ponts¹⁶ délaissent quelque peu le ministère de l'Équipement pour privilégier un premier poste dans le ministère de l'Économie et des Finances (Goujon et al., 2007). L'environnement ne serait-il finalement

¹⁶ Ingénieurs polytechniciens et diplômés de l'École des Ponts

qu'une mode passagère plus que le moteur d'un tournant, voire d'une mutation, au sein des formations d'ingénieurs ? La question se poserait si d'autres écoles, telle l'ENTPE, n'avaient pas remanié en profondeur tout un volet de leur formation.

b. L'École Nationale des Travaux Publics de l'État bientôt renommée ?

C'est sans doute ce qui pourrait se produire dans un futur relativement proche à l'ENTPE. Cette école, créée en 1954 comme service extérieur du ministère des Travaux publics dans le but de pallier les besoins de reconstruction et de développement du territoire et d'assurer ainsi la formation des cadres techniques du ministère, fait montre d'une évolution continue dans le domaine environnemental. Contrairement à l'ENPC, l'ENTPE ne possède pas d'archives sur les programmes de formation. De même, les mémoires de fin d'études n'ont pas été répertoriés systématiquement. En revanche, un entretien approfondi, réalisé avec le responsable de la formation du département *Ville & Environnement*, lui même formé à l'ENTPE, a permis d'obtenir une vision longitudinale de la formation proposée à partir des années 1980. Cette décennie a été marquée par l'introduction d'une option « environnement » traitant ici encore principalement d'écologie. Les cours étaient en effet orientés sur le traitement des déchets, la qualité de l'eau et les études d'impacts liées par exemple à l'implantation et au développement d'usines et d'industries produisant des rejets polluants.

L'année 1989 marque un tournant important pour l'école avec la création du laboratoire de recherche G2E : *Génie de l'environnement et de l'écodéveloppement*. Malgré des débuts difficiles, la création de ce laboratoire a permis de développer un pôle recherche dans l'école et d'y rattacher dès 1990 un master de *Sciences de l'environnement industriel et urbain*. Bien que tourné vers des problématiques industrielles comme son nom l'indique, ce master avait pour objectif d'élargir les champs de la discipline environnementale enseignés et jusqu'alors principalement tournés vers la pollution industrielle.

En parallèle de l'évolution du contenu des cours, les dénominations des voies d'approfondissement (VA) ont également évolué, passant par exemple de *VA Ports maritimes et Voies navigables* avant les années 1990 pour devenir *VA Ingénierie maritime et fluviale* dans les années 1990, puis *VA Gestion des cours d'eau et du littoral* en 2006. Les cours associés à cette dernière relèvent de l'écologie du littoral, des cours d'eau et des estuaires, de la gestion intégrée du littoral et de la prévention et de la gestion du risque inondation. En somme, un programme complet combinant droit, économie, et approche par le milieu :

« Ce qu'on essaie de montrer aux étudiants dans cette VA, c'est qu'ils ont affaire à des milieux au fonctionnement complexe : une rivière ça bouge, un littoral ça bouge ; et qu'ils essaient de comprendre pourquoi, même s'ils ne deviendront pas des spécialistes avec cette formation ».

Ces évolutions progressives peuvent être envisagées comme un remaniement profond des objectifs de l'école et non comme une « mode passagère ». En effet, depuis 2012, la plaquette d'information destinée aux futurs élèves de l'école fait apparaître un nouveau nom :

l'École des ingénieurs de l'aménagement durable des territoires. Ce dernier n'est pas officiel et le logo de l'ENTPE est toujours employé, mais procéder au changement du nom de l'École fait partie des prochains objectifs de la direction qui semble vouloir rompre avec une réputation techniciste quelque peu encombrante. À la rentrée 2010, en conséquence directe de la tempête Xynthia, un nouvel enseignement intitulé « submersion marine » a vu le jour. La présentation des objectifs de ce dernier est assez révélatrice de cette volonté affichée :

Dans le domaine de l'aménagement du littoral, et le contexte d'élévation du niveau marin, « *le rôle des ITPE est particulier. En tant qu'ingénieurs, ils sont les 'descendants' d'une technostructure ayant longtemps défendu la toute-puissance de la réponse technique 'dure' sur le littoral, en particulier l'endiguement et la protection. Dans le cadre d'une politique des risques donnant plus de place à des réponses multiples, on leur demande maintenant une expertise sur des choix plus complexes à faire, aux conséquences lourdes en matière d'enjeux humains (économiques et sociaux) et naturels (écologiques et morphodynamiques)* ».

De même, la plaquette d'information de 2010 décline les nouveaux débouchés offerts par le département *Ville & Environnement*. L'ENTPE donne désormais la possibilité aux élèves de devenir ingénieur conseil en environnement c'est-à-dire de faire « *respecter les réglementations sur la pollution émise par les entreprises tout en préservant leur productivité et leur rentabilité* », ou encore ingénieur écologue, dont la mission consiste à conduire « *des études d'environnement et d'impact dans le cadre de la législation, [de porter] assistance, conseil et expertise, [et de participer] à des actions de formation* ».

Cependant, malgré un effort constant pour développer cette nouvelle image, il semblerait que le département *Ville & Environnement*, créé en 2006, concentre une majorité d'élèves dans la *VA Aménagement et politiques urbaines* au détriment de celle de la *Gestion des cours d'eau et du littoral*. En 2011, 7 élèves avaient choisi cette dernière, contre 14 pour la *VA Risques, pollutions et nuisances* et 30 pour la *VA Aménagement et politiques urbaines*. Cette tendance montre l'absence de perspective que les élèves y voient :

« *Il y a pourtant une demande professionnelle derrière, au moins du ministère, donc c'est un domaine qui à mon avis devrait faire rêver un peu plus les élèves qui entrent en première année. Mais les élèves qui entrent en première année, [...] beaucoup voient dans l'École le côté génie civil. Pour eux c'est le viaduc de Millau ! Il y a des images qui ont la vie dure !* ».

2. *Évolution de l'enseignement aux Pays-Bas : cas de la TUDelft et de l'Université de Wageningen*

Le même phénomène a été observé aux Pays-Bas : l'insertion de la dimension environnementale dans les cursus de formation de la TUDelft s'est faite très progressivement et relativement tardivement tandis que d'autres universités, telle l'Université de Wageningen, ont définitivement orienté leur formation vers la gestion durable des territoires.

a. Un enseignement en environnement qui reste marginal à la TUDelft

Aux Pays-Bas, c'est à la fin des années 1980 qu'un enseignement des sciences environnementales apparaît dans les cursus de formation de l'Université Technologique de Delft. En effet, bien que la section hydrologie propose dès 1978, comme en France, des modules sur les cours d'eau et les rivières, se distinguant ainsi des cours classiques de mécanique des fluides par la prise en compte du milieu dans lequel évoluent ces éléments, ce n'est qu'en 1989 qu'apparaissent des cours approfondis sur les écosystèmes - cours élargis en 1993 par le champ des sciences environnementales. Les responsables de la formation à la TUDelft expliquent cette lente évolution par le fait que, dans les années 1970 et 1980, les professeurs de la TUDelft avaient participé activement à la mise en œuvre des barrages du plan Delta. Le tournant écologique et social, déclenché dans le pays en 1972 par la modification des plans du barrage de l'estuaire de l'Escaut oriental en un barrage amovible, a certes été perçu par les ingénieurs enseignants de l'époque, mais cet événement supposait une profonde remise en question des solutions d'ingénierie jusqu'alors encouragées et s'avérait être par conséquent une étape difficile à franchir pour certains professeurs. Il a donc fallu attendre un renouvellement du corps enseignant pour voir définitivement apparaître en 1996 une section *Gestion intégrée de l'eau* incluse dans les cours de morphologie des estuaires et des côtes. Cette évolution sémantique a également été mentionnée par le responsable des enseignements de l'université : avant 1996, il n'était possible de suivre qu'un enseignement intitulé *Coastal & Marine Engineering*. Depuis cette date, il existe l'enseignement *Coastal Zone Management*, montrant ainsi un élargissement des préoccupations, dépassant le cadre technique de l'ingénierie. En 2004 le lien est clairement établi entre ouvrages de défense côtière et prise en compte du milieu les accueillant, dans les brochures de présentation des formations : « *l'objectif de ce module est d'imaginer des formes de défense côtière tenant compte du milieu naturel et de l'environnement socio-culturel ; [...] de travailler à l'élaboration de solutions intégrées* »¹⁷.

Cependant, un discours plus nuancé a été produit par l'un des responsables de la formation *MSc Civil Engineering* de l'Université Technologique de Delft. Selon lui le but premier de la formation reste technique : « *nos ingénieurs doivent définitivement être capables de résoudre des problèmes d'ingénierie, des problèmes d'hydrauliques par exemple. [...] Cela suppose bien sûr nous expliquions à nos futurs ingénieurs que l'écologie est importante à prendre en compte* »¹⁸. Pourtant cette démarche ne semble pas suffisante aux

¹⁷ « *the aim of this module is to design flood defences in the natural and the socio-cultural environment ; [...] to work on integrated solutions [...]* », Programme de formation de l'année 2004/2005.

¹⁸ « *our engineers must definitely be able to solve engineering problems like hydraulic problems for example. [...] Of course we explain to our future engineers that ecology is important to be taken into account* »

yeux de certains écologues pour mener à bien concertation et un travail pluridisciplinaire : « [...] bien sûr vous pouvez expliquer à une personne qu'il est important de prendre en compte les valeurs écologiques, mais si vous n'expliquez pas à cette personne ce qu'elle doit exactement prendre en compte, celle-ci ne sera jamais sûre de ce qu'elle doit faire : « je devrais aller voir les écologues maintenant, mais qu'est-ce que je dois finalement leur demander ? »¹⁹. La question du partage d'un vocabulaire commun entre écologues, autres scientifiques et ingénieurs du génie civil semble donc nécessaire mais non suffisante.

b. L'université de Wageningen fait de l'environnement sa spécialité

Parallèlement à la diversification des cours proposés à la TUDelft, d'autres universités, telle l'Université de Wageningen, ont fait de l'environnement leur spécialité dès les années 1970. Cette dernière n'a fait que s'enrichir au fil des décennies pour créer, dans les années 2000, une section intitulée *Environment & Landscape* entièrement dédiée aux sciences environnementales. Les responsables de formation de ce département ont confirmé cette évolution :

« Avant les années 1970, Wageningen proposait une formation très technique et après, l'université a développé une approche beaucoup plus intégrée. Donc Wageningen a commencé à proposer des cours de droit, de sociologie, d'économie et d'écologie. Aujourd'hui, quel que soit le département et les options choisies par les étudiants, les sciences environnementales font partie intégrante de la formation »²⁰.

L'approche de la formation s'est donc inversée : priorité a été donnée aux sciences environnementales, aux méthodes de recherche qu'elles nécessitent et aux politiques européennes sur lesquelles elles s'appuient. La technique n'est plus devenue qu'un support au bon exercice de la discipline environnementale. Toutefois, il ne faut pas vouloir comparer les compétences des jeunes ingénieurs issus de la TUDelft et de Wageningen, mais plutôt voir dans cette évolution un engouement croissant pour les sciences environnementales, suffisamment solide pour réorienter totalement les objectifs de formation d'une université. Ainsi, les ingénieurs issus de la TUDelft et de Wageningen ne font pas valoir les mêmes compétences mais offrent, au contraire, une complémentarité nouvelle.

¹⁹ « of course you can teach to a person that it is important to take into account ecological values, but if you can't explain to that person exactly what he should take into account, this person will always feel unsure, like « well I should go to the ecologists now but what should I ask them ? »

²⁰ « Before the 1970's, Wageningen used to be very technical and afterwards the approach became much more integrated. So Wageningen started to open courses about law, sociology, economy and ecology. And now, whatever are the department and the options the students choose, environmental sciences are included in the training », Extrait d'entretien réalisé à l'université de Wageningen en juillet 2010.

3. Des préoccupations environnementalistes anciennes et soutenues chez les ingénieurs de l'Institution of Civil Engineers (ICE) en Angleterre

À la fois moteur et conséquences de la progression des formations anglaises, entre autres, les archives des colloques internationaux organisés par l'ICE sur l'aménagement et la gestion du littoral montrent une évolution des préoccupations de gestion. Le schéma suivant présente un recensement des communications sur le sujet depuis 1953. Ces articles ont été classés en trois catégories.

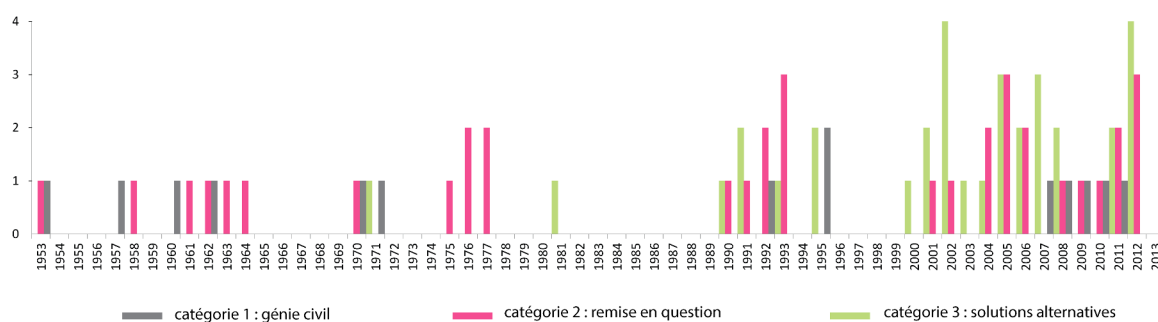


Figure 31 : recensement des communications retenues aux colloques de l'ICE, dans le domaine de l'aménagement et de la gestion du littoral. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2012

En gris apparaissent uniquement les communications portant sur le génie civil, c'est-à-dire sur le dimensionnement des ouvrages de protection ou les types d'ouvrages : digues, épis, brise-lames. Par exemple, la communication intitulée « *Étude de cas du comportement des plages et des épis* »²¹ a été classée dans cette catégorie.

En rose ont été répertoriées les communications remettant en question les pratiques et les décisions de gestion reposant exclusivement sur une approche techniciste. Il s'agit par exemple d'une remise en cause des échelles de réflexions prises en compte : à un problème local d'érosion, une solution ne doit pas systématiquement être pensée localement, mais de façon plus large. Il peut s'agir encore de communications portant sur la nécessaire prise en compte de la complexité du littoral : ce territoire, complexe par le nombre d'activités qui y sont exercées, original par sa situation d'interface entre terre et mer, doit être pris en compte pour imaginer des solutions durables et flexibles de gestion. Les années 1975, 1976 et 1977 ont été particulièrement riches pour cette catégorie, relatant par exemple les conséquences du plan Delta : « *le Plan Delta néerlandais : problèmes et leçons* »²².

Enfin, en vert, les communications portant sur des solutions alternatives. Ont été par exemple pris en compte dans cette catégorie les articles décrivant les expériences de *managed realignment* en Angleterre, ou littéralement *réalignement contrôlé du trait de côte*. D'autres cas mentionnent les expériences de rechargement en sable. Cette catégorie regroupe

²¹ Kemp P. H., 1962, « A model study of the behaviour of beaches and groynes », Proceedings of ICE, paper n° 6558, pp. 191-210.

²² Ferguson H. A., 1975, « The Netherlands Delta project : problems and lessons », Proceedings of ICE, paper n° 7449, pp. 465-478.

également les communications prenant en compte une vision à long terme de la gestion du littoral, incluant des préoccupations liées au réchauffement climatique et ses conséquences.

Les communications portant uniquement sur le génie civil sont réparties de façon assez équilibrée de 1953 à 2013, avec néanmoins une concentration notable entre 1953 et 1977, puis une régularité quasi annuelle de publication à partir de 2001. La seconde catégorie, regroupant les communications remettant en question les pratiques de gestions côtières et les solutions techniques mises en œuvre, est particulièrement représentée. Or, ce n'est qu'à partir des années 1980 que les colloques de l'ICE ont été ouverts aux océanographes et à partir des années 2000 plus généralement aux environnementalistes. Ceci témoigne donc d'une capacité des ingénieurs anglais à se remettre en question. Cette remise en question régulière s'est finalement traduite par de nouvelles communications proposant des solutions alternatives, que l'on peut observer à partir des années 1990. À la fin de cette décennie, de plus en plus d'ingénieurs en collaboration avec d'autres scientifiques rédigent à deux mains voire plus pour offrir de nouvelles pistes de réflexion.

D'autres communications portant directement sur l'évolution du rôle des ingénieurs ont été par ailleurs régulièrement publiées par l'ICE, montrant une attention permanente portée au positionnement de l'ingénieur de génie civil dans la société. Dès 1969, J. H. Jellett met en avant la nécessité des formations d'ingénieur à s'ouvrir à d'autres disciplines : « *l'ingénieur du génie civil doit être en mesure de comprendre les problèmes posés par les sociologues, les économistes, les urbanistes, les architectes et bien sûr ceux des politiciens, qui prennent les décisions finales* »²³. En 1973, une communication assez novatrice force le trait : J. Kolbuszewski, à l'époque Professeur et directeur du département *Transportation and Environmental Planning* à l'Université de Birmingham, remet quelque peu en question le principe de domination de la « nature » par l'homme, largement admis jusqu'à la fin des années 1960. Ainsi, l'auteur affirme la nécessité d'un remaniement en profondeur des formations d'ingénierie civile et d'une ouverture vers d'autres disciplines de façon à permettre aux ingénieurs de demain de relever de nouveaux défis toujours plus complexes :

« Le nouvel environnement de l'ingénieur système qui sera amené à conseiller la société qu'il sert, devrait faire plus que développer technologies, systèmes et processus de production. Il devrait être capable d'appréhender de façon intégrale des systèmes entiers – depuis la production jusqu'au recyclage des déchets, depuis les nouvelles technologies jusqu'aux nouveaux services et institutions qu'elles supposent, depuis l'exploitation des ressources naturelles jusqu'au maintien d'un équilibre

²³ «The civil engineer needs to appreciate the problems of the sociologist, the economist, the planner, the architect and certainly those of the politician who must make the final decision », Jellett J. H., 1969, « Conference on the education and training of civil engineers », Proceedings of ICE, vol. 42, p. 160.

naturel et écologique, depuis la faisabilité technologique jusqu'aux restrictions imposées à la société et à l'échelle individuelle »²⁴.

En somme, J. Kolbuszewski considère incontournable dans l'enseignement du génie civil la prise en compte des interactions et des interdépendances des différents systèmes constituant l'environnement urbain dans lequel les ingénieurs vont être amenés à agir :

« Je pense que la première chose qui doit convaincre les ingénieurs du génie civil c'est que l'environnement des êtres humains ne peut plus être assimilé au fonctionnement urbain [...]. L'environnement humain doit maintenant être considéré de façon globale et de surcroît comme un système »²⁵.

Pour appuyer sa démonstration l'auteur schématise ce système de la façon suivante :

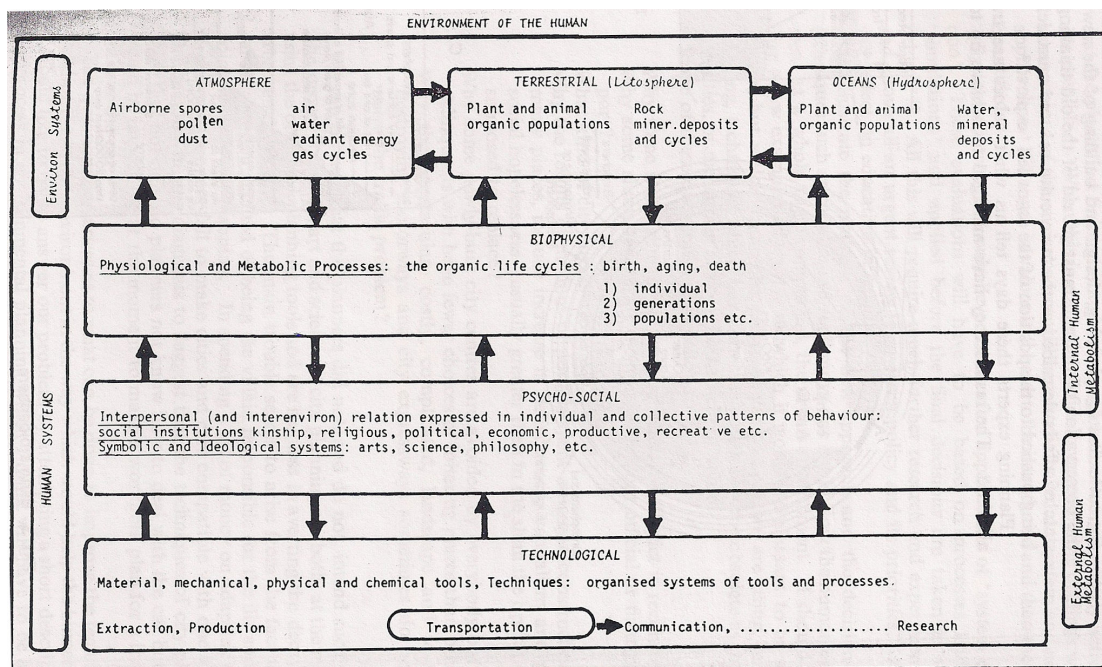


Figure 32 : L'environnement humain comme système. Source : Kolbuszewski, 1973

Dans ce schéma, la technologie, sur laquelle les ingénieurs se sont principalement concentrés, ne représente qu'un des aspects du système humain. Les nouvelles technologies doivent donc être connectées avec les caractéristiques psycho-sociales et biophysiques du

²⁴ « The new environmental system engineer who will help and advice the society which he serves, should do more than develop technologies, products or processes. He should be able to deal with entire systems in an integral way – from product development to waste recycling, from new technologies to new services and new institutions, from exploitation of natural resources to maintenance of natural and ecological equilibrium, from technological feasibility to restrictions imposed on society and on individual levels », Kolbuszewski J., 1973, « Abstract sciences, engineering and human environment planning », Proceedings of ICE, vol. 55, p. 578

²⁵ « I think that the first thing to be impressed upon [the civil engineer], is that the environnement of human beings can no longer be considered on the basis of a town [...]. Human environment must now be considered on the global basis and in addition it must be considered as a system », Kolbuszewski J., 1973, « Abstract sciences, engineering and human environment planning », Proceedings of ICE, vol. 55, p. 563

système humain. De même, le système humain est directement dépendant du système environnemental. Ainsi, les ingénieurs doivent tenir compte des impacts des nouvelles technologies sur l'atmosphère, la lithosphère et l'hydrosphère. Selon l'auteur, il ne s'agit pas d'une possibilité mais d'une réelle nécessité. L'exemple choisi pour appuyer son propos est tout à fait transposable au champ de l'environnement littoral. En effet, lorsque l'auteur pose la question : « *Pourquoi est-ce que les routes et autoroutes qui détruisent les paysages ruraux et urbains, aussi coûteuses, spectaculaires, compliquées soient-elles ne parviennent parfois même pas à résoudre le problème d'origine : les embouteillages ?* »²⁶, l'on ne peut s'empêcher de faire l'analogie avec la construction d'épis destinés à maintenir le trait de côte, et qui, bien souvent, n'ont fait que déplacer un peu plus en aval un problème d'érosion finalement non résolu. L'auteur remet donc en question, dès 1973, l'approche techniciste enseignée à l'université. Pour exposer cette réflexion solidement argumentée mais tranchant néanmoins nettement avec l'avis général de l'époque, J. Kolbuszewski a éprouvé le besoin de préparer son auditoire dès l'introduction en décrivant le courage qu'il lui a fallu pour soumettre ces idées : « *J'ai dû mobiliser tout mon courage pour faire cette sorte de proposition aujourd'hui, parce que je sais à quel point les réactions immédiates qui suivent un nouveau concept ou une nouvelle approche des choses peuvent être empreintes de scepticisme, parfois même d'incrédulité* »²⁷. Cette remarque est à double tranchant. Elle montre, à première lecture, une certaine rigidité, voire une réticence de la profession à s'ouvrir à de nouveaux concepts, radicalement différents des principes jusqu'alors admis et partagés. Cependant, elle laisse percevoir paradoxalement une certaine capacité de la profession à se remettre en question par le fait même d'avoir accepté une telle communication dans un journal par essence technique.

4. Comparaison des trois pays

L'évolution des formations des ingénieurs français et néerlandais montrent plusieurs similitudes tandis que le cas anglais se démarque quelque peu.

Les grandes institutions de formation en génie civil (l'ENPC et TUDelft, qui ont d'ailleurs signé des accords d'équivalence entre elles) ont mis un certain temps avant d'intégrer des cours en environnement dans leurs cursus, privilégiant avant tout une formation généraliste de leurs élèves ingénieurs. Ce manque de formation spécifique en environnement a d'ailleurs conduit un des ingénieurs français rencontrés à approfondir ses connaissances dans le domaine par une formation complémentaire, selon lui incontournable pour être en mesure de résoudre des problèmes complexes de gestion côtière :

« Il y a une culture, dont je me revendique peut-être plus, celle de l'ingénieur des systèmes complexes qui va cumuler une formation scientifique dure et une

²⁶ « Why the spectacular, costly, complicated, lanscape and townscape destroying motorways and city expressways sometimes do not even solve the trafic problem ? », Kolbuszewski J., 1973, « Abstract sciences, engineering and human environment planning », Proceedings of ICE, vol. 55, p. 565

²⁷ « I had to mobilize all my courage to make this sort of proposition because I know that the immédiate réaction to some new concepts and approaches is usually that of septicism and sometimes disbelief », Kolbuszewski J., 1973, « Abstract sciences, engineering and human environment planning », Proceedings of ICE, vol. 55, p. 557

formation en sciences de la vie, en biologie, accompagnée d'une ouverture ensuite sur les sciences humaines et sociales ».

Mais alors, se pose la question non résolue de la spécialisation des formations. En 1972, une communication au colloque de l'ICE soulevait déjà le problème : «*L'ingénieur du génie civil va être appelé à fournir les éléments essentiels à la vie comme l'utilisation d'énergie, de l'eau, des routes, des chemins de fer, des ports et des bâtiments en tous genres. Il sera attendu de lui qu'il soit en mesure de passer d'un champ spécialisé à un autre en considérant des priorités socio-économiques. Il devra avoir une vision propre, faisant preuve d'une pensée constructive, d'un jugement, d'initiative et d'ingéniosité. Mais alors on attend sans doute trop d'une seule et même personne* »²⁸ (Rhodes, 1972, p. 355). Près de quarante ans plus tard, la même question est posée lors de la conférence organisée par l'Université de Tous les Savoirs en 2010 et en particulier d'une intervention intitulée : «*le généraliste, le spécialiste et l'expert* »²⁹. Former des ingénieurs généralistes, telle est également la volonté affichée par la direction de l'ENTPE :

*« On a toujours dit que la voie d'approfondissement était une coloration et que ce n'était pas forcément l'essentiel puisqu'on ne veut pas former de gens spécialisés dans un domaine compartimenté. Donc le directeur de cette école, par exemple, ne veut pas entendre parler de filières. [...] Mais quand on regarde les programmes de formation des élèves, on voit qu'ils touchent vraiment à beaucoup de choses. Parfois même on se pose des questions sur la capacité d'un étudiant à assimiler des choses aussi variées... »*³⁰.

Pourtant, l'ENTPE, tout comme l'Université de Wageningen, ont associé l'environnement à une opportunité à saisir pour constituer une nouvelle marque de fabrique et se distinguer ainsi de leurs aînés en créant une nouvelle génération d'ingénieurs développant une vision globale et non spécifiquement technique de la gestion et de l'aménagement des territoires.

En Angleterre, les archives des colloques de l'ICE ont montré que la dimension environnementale avait fait l'objet d'une préoccupation plus précoce qu'en France ou aux Pays-Bas. Le premier article portant sur de nouvelles solutions de gestion côtière date par exemple de 1971. De même, la question de l'ouverture des formations de génie civil aux sciences environnementales a fait l'objet d'une communication particulièrement incisive dès 1973.

²⁸ « The civil engineer will be call upon to provide the vital elements of living such as power, water, roads, railways, docks, harbours and buildings of every kind. He will be expected to change from one specialized field to another according to financial and social priorities. He should have vision and judgement, initiative, ingenuity and constructive thought. Perhaps too much is expected from one person »

²⁹ Conférence du 17 janvier 2010 par Gabriel Marbach, ingénieur CEA Cadarache, Institut de Recherche sur la fusion par confinement magnétique. Un programme du cycle de conférences de l'UTLS "Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine".

³⁰ Extrait d'entretien réalisé avec le responsable du département « Ville-Environnement » de l'ENTPE

B. Une apparition timide et tardive de cours en communication

Avoir une vision intégrée et à long terme de la gestion du littoral, même si sa mise en œuvre est complexe et difficile, semble être une condition désormais admise et partagée par le corps des ingénieurs. En revanche, savoir expliquer les tenants et aboutissants d'une solution innovante de gestion, savoir convaincre les populations tout comme les gestionnaires et les élus locaux, reste encore aujourd'hui une étape à franchir pour les ingénieurs. C'est d'ailleurs la première difficulté – et parfois la seule – que les ingénieurs ont mentionnée en entretien lorsque la question : « *y a-t-il des difficultés que vous rencontrez de façon récurrente dans l'exercice de votre métier ?* » leur a été posée. Cela peut être expliqué de deux façons : la nouveauté de l'exercice d'une part et l'apparition très tardive de cours de communication d'autre part.

1. Une obligation d'explication perçue comme une perte de confiance en l'ingénieur

L'idée de consulter la population locale, de lui expliquer les fondements des choix de gestion envisagés, est parfois difficile à accepter pour les ingénieurs qui y voient une remise en question radicale de leurs méthodes et par conséquent une perte de confiance de la population en l'ingénieur. Finalement c'est l'essence même de leur métier qui est touchée : ils ne doivent plus « simplement » trouver des solutions pour améliorer les conditions de vie des sociétés mais doivent avant tout justifier leurs choix auprès des populations et par conséquent se justifier. Le schéma s'est donc inversé : c'est désormais aux ingénieurs d'aller vers la population et non l'inverse. Avant le mouvement de décentralisation en France il existait un ingénieur référent dans chaque Direction Départementale de l'Équipement. Cette personne pouvait donc être consultée par les autorités locales, par les communes ou les habitants pour répondre à leurs questions et leur permettre de suivre l'évolution d'un projet. De même, en Angleterre, il existait il y a encore une dizaine d'années un ou plusieurs ingénieurs référents pour chaque comté, détachés du ministère DEFRA. La reconfiguration des administrations françaises et anglaises a profondément modifié ce lien direct qui existait entre population locale et ingénieurs travaillant pour les services déconcentrés des ministères. Cette nouvelle façon d'opérer en terme de concertation et de consultation s'est souvent traduite par de l'incompréhension, voire un véritable désarroi et un sentiment d'exclusion. Plusieurs témoignages le mettent en avant :

à propos du statut d'ingénieur d'une des personnes rencontrées :

« On me le reproche suffisamment ! Parce que je suis le seul ingénieur du bureau. Les autres sont plutôt des juristes. Alors voilà, parfois... je me sens un peu différent des autres, sur la manière de penser par exemple. Moi j'adore les chiffres et eux détestent les chiffres. [...] Ils ne comprennent pas. Je ne comprends pas. [...] C'est la première fois que je suis dans cette situation-là. Avant j'étais plutôt entouré d'ingénieurs ».

« En école d'ingénieurs, j'ai eu des cours de communication pour présenter et faire un exposé. C'est la base. Mais ensuite, la concertation, l'animation etc., moi j'ai pas fait. Et je pense que c'est quelque chose qui m'aurait été utile. Très utile ».

« Tellement de règles, tellement de directives balisent l'ingénierie moderne... Pourquoi le public nous respecterait-il ? Nous ne sommes plus que des singes suivant sagement une ligne de cacahuètes. [...] Traditionnellement il a été admis que les ingénieurs aiment le numérique, et parce que les nombres sont très utiles pour faire des exercices consistant à cocher des cases, les ingénieurs ont finalement perdu l'art de prendre des décisions via le discours. [...] En ce sens, nous avons perdu l'art de l'ingénierie »³¹

Il aurait été possible de multiplier les extraits d'interview de cette teneur, et ce quelle que soit la génération. Une large majorité a mentionné un manque de formation en la matière. L'analyse des programmes de formation confirme ces propos.

2. Une formation en communication qui ne prépare que très récemment à cette nouvelle tâche

L'absence de véritables cours de communication jusque dans les années 2000 dans les écoles françaises d'ingénieurs, de même que l'absence de communications sur ce changement de procédé dans les annales de l'ICE, n'ont sans doute pas aidé les ingénieurs dans cette nouvelle démarche.

À partir de 1985, l'ENPC a mis en place le cours *Techniques de communication de l'ingénieur* qui avait pour but d'apprendre à « *utiliser les principales clés et règles qui rendent efficaces les communications professionnelles courantes : réunions, conférences, lettres, rapports...* »³². L'objectif consistait à développer une communication interne avec les différents acteurs engagés dans un projet de gestion, et non une technique de vulgarisation scientifique par exemple, pour être en mesure d'expliquer au public les solutions imaginées. Ce n'est qu'en 2000 lors de la redéfinition du projet stratégique de l'École que Pierre Veltz, alors directeur de l'ENPC, a formulé le changement « d'attitude » que devaient opérer les ingénieurs et par conséquent la nécessité d'une ouverture de l'enseignement à la communication :

³¹ « So much rule-setting, so much guidance exists within modern engineering. Why should the public respect us ? We're just monkeys following a trail of peanuts. [...] Traditionally, there's been the view that engineers are numerical, and because numbers are great for doing tick-box exercises, engineers have lost the art of making decisions by narrative. [...] We've lost the art of engineering ».

³² Programme de formation de l'année 1985/1986

« [la mutation des entreprises] redéfinit en profondeur le rôle des ingénieurs, qui ne sont plus des techniciens dans leur tour d'ivoire, mais de véritables acteurs de projets pluridisciplinaires [...] »³³.

Pour répondre à cette volonté, un élargissement des formations vers les sciences sociales et la communication s'est alors engagé. Depuis 2009, l'ENPC propose un séminaire de communication écrite et orale, renouvelé sur les trois années de formation, et ayant pour objectif de préparer les futurs ingénieurs à une appréhension globale des situations et des problèmes. Ce nouvel enseignement veut développer « le sens critique des futurs ingénieurs, qui, pour saisir la complexité des enjeux, [doivent] prendre de la distance, questionner les évidences et analyser les choses dans une perspective d'ensemble ». En deuxième et troisième années, le séminaire approfondit les choses en proposant d' « éclairer les différentes facettes de la relation interpersonnelle et 'l'art des échanges' » et de « comprendre ce que l'on met en œuvre, l'explicitier, le questionner, le prolonger, l'étayer »³⁴.

De son côté, l'ENTPE a proposé un module *Management & Sciences Humaines* dans lequel sont renouvelés des cours classiques de droit et d'économie, mais dans lequel apparaissent en 2000 de nouveaux cours sur la concertation et le débat public à partir de la seconde année de formation. Cet enseignement va donc dans le sens de la GIZC pour les questions de gestion du littoral. Il prône également le renforcement de la consultation et du débat public instauré par la loi Barnier en 1995. Un décalage de cinq ans pour l'ENTPE, et de ans pour l'ENPC, existe donc entre la promulgation de cette loi et le début des cours de communication sur la façon de mener un débat public. Cet écart permet de mieux comprendre la difficulté d'adaptation des ingénieurs sur ce point précis en ce sens que tous les ingénieurs formés avant la seconde moitié des années 2000 ne l'ont pas été à cet exercice. Par ailleurs l'apparition de cours en communication montre une véritable rupture entre les pratiques passées et actuelles liées à l'exercice du métier d'ingénieur.

L'amélioration des connaissances scientifiques et techniques, l'insertion progressive de cours sur l'environnement dans le cursus de formation des ingénieurs peuvent expliquer le décalage générationnel observé entre ingénieurs. Mais l'avancée de l'Angleterre et des Pays-Bas sur la France en matière de gestion innovante du littoral doit trouver une autre explication. La façon dont chaque pays aborde par exemple la question des risques littoraux et envisage l'évolution des aléas météo-marins à moyen et long termes peut fournir des explications pertinentes, d'ordre culturel cette fois.

³³ Goujon N., Odinet J., 2007, L'École des Ponts, 1960-2000, Une École en mouvement, Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, p. 148

³⁴ Programme de formation de l'année 2009/2010

III. Incertitudes scientifiques face au réchauffement climatique : une prise en compte propre à chaque pays

Le rapport du GIEC (2007) précise que l'élévation relative du niveau marin ne sera pas uniforme et que des disparités régionales devront être prises en compte particulièrement en Europe du nord-ouest. Ceci explique pour une grande part les raisons qui ont poussé les gouvernements à établir leurs propres projections à partir des fourchettes supérieures des résultats émis par les différents modèles. Certaines nuances existent cependant entre les trois pays, sur la valeur des projections comme sur l'échéance envisagée³⁵.

A. Pays-Bas : des prévisions revues à la hausse, des projections établies jusqu'en 2200.

Avec 85% de son littoral situé au-dessous des 5 m d'altitude, les Pays-Bas sont particulièrement vulnérables à la submersion marine et par conséquent très concernés par les impacts du réchauffement climatique. En effet, ce pays subit un mouvement d'affaissement naturel continu particulièrement marqué dans la région sud-ouest du delta zélandais, auquel s'ajoute une subsidence anthropique liée à la conquête de terres sur la mer pendant près d'un millénaire. Le drainage des polders, incontournable pour en préserver les usages, entraîne une aération puis une oxydation du sol constitué presque exclusivement de tourbe. Par conséquent, du CO₂ se dégage de la terre et la surface du sol s'affaisse de quelques millimètres et jusqu'à un centimètre par an dans certaines zones. Ce phénomène pourrait s'accroître de 0,5 m dans certaines zones d'ici 2050³⁶.

C'est pourquoi la nouvelle Commission Delta, qui a publié son dernier rapport en 2008, s'est non seulement appuyée sur les résultats du GIEC (2007) et sur le rapport de l'Institut Royal Néerlandais de Météorologie (KNMI) de 2006, mais a aussi ordonné des recherches additionnelles, menées par une vingtaine d'experts nationaux et internationaux. Cette équipe a tenu compte du scénario le plus pessimiste A1F1³⁷, correspondant à une élévation des températures de 2 à 6 °C pour 2100, et a par ailleurs élargi sa réflexion sur les projections à l'horizon 2200. Malgré la grande incertitude d'une telle échéance, cette démarche montre la volonté affirmée du pays d'avoir une vision à long terme, même incertaine. La Commission précise que les données seront à réajuster dès que seront affinées les connaissances scientifiques sur le rythme et l'ampleur de la fonte des deux inlandsis. Ainsi pour 2100, la Commission Delta table sur une élévation de 1,30 m tenant compte de l'expansion océanique due à une modification des courants marins, de la fonte des deux inlandsis dans la limite des connaissances actuelles et des mouvements verticaux terrestres (The Delta Commissie, 2008). Dans les mêmes conditions, cette élévation du niveau marin continuerait de progresser pour atteindre 4 m en 2200.

³⁵ Le dernier rapport du GIEC, datant de fin 2013 et 2014, les politiques nationales d'adaptation au changement climatique n'ont pas encore à ce jour été réactualisées en tenant compte de ce dernier rapport. Les paragraphes suivants sont donc en lien avec le rapport du GIEC de 2007.

³⁶ Autorités de l'eau : www.uvw.nl

³⁷ rappel du classement des 6 scénarios utilisés dans le rapport du GIEC de 2007 : Du moins sévère B1 (la population mondiale plafonne en 2050, et la structure économique se tourne rapidement vers une économie de service et d'information et un développement global durable) au plus pessimiste A1F1 (correspondant à une exploitation intensive des énergies fossiles) : B1<A1T<B2<A1B<A2<A1F1

Les recherches complémentaires néerlandaises n'ont pas levé les incertitudes scientifiques sur l'évolution du régime des tempêtes en Mer du Nord. Tout en indiquant que les différents modèles utilisés ne mettent pas en évidence de tendance nette, la Commission Delta s'oriente vers une possible augmentation de la fréquence des vents de sud-ouest. Aucune indication n'est donnée pour les vents de nord-ouest, or ces derniers causent généralement les plus forts dommages sur les côtes néerlandaises (The Delta Commissie, 2008).

B. Royaume-Uni : des prévisions ajustées sur le scénario le plus pessimiste

L'élévation du niveau des eaux bordant les côtes britanniques a atteint en moyenne 1 mm par an au cours du XX^e siècle, tout en s'accéléralant depuis le début des années 1990 (Jenkins *et al.*, 2008). Cette tendance est confirmée pour le XXI^e siècle par les rapports du *UK Climate Projections* publié en 2009 (UKCP09) quel que soit le scénario d'émission envisagé³⁸. La Grande-Bretagne a en effet décliné les projections relatives au changement climatique selon quatre scénarios : un scénario bas (correspondant au scénario B1 du GIEC), un scénario moyen (A1), un scénario haut (A1F1) et un scénario extrême H++. Ce dernier tient compte d'une accéléralation de toutes les variables envisagées dans les trois premiers scénarios, ainsi que de l'accéléralation de la fonte des inlandsis, sans toutefois être en mesure de prévoir son ampleur et sa vitesse. Le scénario H++ est donc présenté comme plausible physiquement, mais peu probable (probabilité inférieure à 10%) avant la fin du XXI^e siècle - les incertitudes des modélisations ne permettent en effet pas d'estimer avec précision ces projections (Lowe *et al.*, 2009).

Selon le scénario A1, l'élévation du niveau marin sera comprise entre 12 à 76 cm d'ici 2095 - valeurs auxquelles il faut ajouter plus ou moins 10 cm dus aux mouvements terrestres verticaux. En effet, le sud-est de l'Angleterre et le pays de Galles sont soumis à une subsidence continue depuis la fin de la dernière période glaciaire, alors que l'Écosse et l'Irlande du Nord connaissent un rehaussement isostatique venant contrecarrer en partie l'élévation eustatique dans cette région. La valeur centrale projetée pour 2100 de l'élévation relative du niveau marin est d'environ +44 cm à la latitude de Londres et de Cardiff alors qu'elle n'est que d'environ +30 cm pour Edinbourg et Belfast (Jenkins, 2009). Le scénario H++ indique une fourchette de valeurs bien supérieures allant de 93 cm à 1,9 m.

Les variations proposées sont larges et dépendent à la fois du scénario choisi mais aussi de la localisation concernée. Le rapport de l'UKCP09 indique que le choix des valeurs retenues relève de la responsabilité des aménageurs, et qu'il appartient à chacun, selon l'urgence du projet, sa localisation et l'échelle de temps considérée, d'envisager le scénario et les valeurs les plus adéquats (Lowe, 2009). Une interface de simulation a d'ailleurs été mise en ligne par l'UKCP09 pour aider les décideurs dans leur démarche³⁹. Cependant, afin de dégager une ligne de conduite à l'échelle nationale, *Environment Agency* propose de

³⁸ www.ukclimateprojections.defra.gov.uk

³⁹ www.ukclimateprojections.defra.gov.uk

considérer comme la plus probable une élévation moyenne du niveau marin d'environ 1 mètre d'ici 2100 (EA, 2011).

C. France : des projections moins alarmistes

La France a résumé les différentes projections établies dans le dernier rapport du GIEC en deux hypothèses : une hypothèse « optimiste », correspondant en réalité au scénario B1 et une hypothèse « pessimiste », correspondant au scénario A1F1. La première indique une élévation moyenne du niveau marin de 0,40 m d'ici 2100, la seconde, une élévation de 0,60 m (CGDD, 2011). Par ailleurs un modèle « extrême », comparable au scénario anglais H++, constitue la troisième hypothèse française. Le débat actuel sur le rythme de fonte des inlandsis groenlandais et antarctique justifie cette dernière. Certains auteurs tels Rahmstrof ou Hansen projettent respectivement une élévation possible de 1 à 2 m et de 5 m pour la fin du XXI^e siècle à partir d'une méthode semi-empirique (Rahmstrof, 2007 et Hansen, 2007 *in* CGDD, 2011). J.E. Hansen justifie l'ampleur de l'élévation qu'il projette par le fait que les modèles semi-empiriques développés sont calibrés sur des périodes où les variations du niveau marin sont essentiellement dues à la dilatation thermique des océans alors que ce qui est craint pour le XXI^e siècle est une élévation du niveau marin liée à une fonte des calottes polaires, et qu'ils ne sont par conséquent pas entièrement satisfaisants. Cependant, la France considère le débat scientifique non tranché et arrête son hypothèse « extrême » à une élévation moyenne du niveau marin de 1 m (CGDD, 2011). Plus nuancé, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2011-2015 (PNACC) n'a retenu que deux scénarios parmi les six proposés par le GIEC (2007) : B2 et A2. Le scénario A2, le plus pessimiste des deux, reste néanmoins plus optimiste que le scénario A1F1 ou le scénario extrême équivalent du H++. Toutefois, le PNACC indique que l'hypothèse extrême d'une élévation d'un mètre du niveau marin pour l'horizon 2100 ne doit pas être exclue.

Par ailleurs, le PNACC ne fait pas mention de l'évolution du régime des tempêtes et le rapport du CGDD n'indique aucune tendance pour les décennies à venir, considérant les projections du GIEC trop incertaines. Cependant, les effets possibles d'une augmentation en intensité et en fréquence des événements tempétueux sont annoncés comme nombreux : amplification de l'amplitude de la direction et de la période de houle, augmentation de la fréquence et de l'intensité des surcotes, évolution des rivages par érosion et submersion etc... Aussi semble-t-il nécessaire de se pencher plus avant sur les conséquences socio-économiques et spatiales de telles hypothèses pour les trois pays d'étude.

D. Conséquences socio-économiques et spatiales pour les trois pays d'étude.

En dépit des nombreuses incertitudes scientifiques actuelles, les effets d'une élévation du niveau marin conjuguée à une modification du régime des tempêtes auront des conséquences socio-économiques inévitables sur les littoraux européens. C'est pourquoi des mesures d'adaptation au réchauffement climatique sont aujourd'hui présentées comme incontournables dans les politiques européennes et nationales. Le rapport Stern, entre autres, indique en effet que les coûts de l'inaction dépasseraient largement les coûts supportés pour un même aléa après mise en œuvre de mesures d'adaptation au réchauffement climatique (Livre vert, 2007). Sans politique d'adaptation, le risque de perturbation économique et sociale serait ainsi comparable aux coûts d'une lourde guerre ou de la crise économiques de 1929 (EEA, 2007). Le contexte actuel de crise économique sévère incite d'autant plus les gouvernements européens à se pencher sur la question, au regard des économies conséquentes qu'il serait possible de réaliser. Ainsi, en l'absence de politique d'adaptation, pour une élévation moyenne du niveau des mers de 0,58 m correspondant au scénario A2, 19 000 km² de terres seraient submergées en Europe d'ici 2080, affectant 1,4 million de personnes pour un coût de 18 milliards d'euros par an. En présence de mesures d'adaptation efficaces, moins de 1000 km² de terres seraient perdues et le coût annuel des dommages reviendrait à 1 milliard d'euros pour un coût d'adaptation de 1,5 milliard d'euros par an (EEA, 2007). Cette réduction des coûts et des dommages semble d'autant plus pertinente pour les Pays-Bas, dont la protection contre les submersions marines et les inondations est vitale. Selon R. J. Nicholls *et al.*, une élévation du niveau de la mer d'un mètre d'ici 2100 affecterait 67% de la population et 69% du PIB (Nicholls *et al.*, 2007, in EEA, 2007). Or des investissements, entrepris dès aujourd'hui, dans des mesures d'adaptation comprimeraient les coûts des dommages causés jusqu'à la fin du siècle de 39,9 milliards d'euros à 1,1 milliard d'euros par an, pour un coût d'adaptation annuel de 1,5 milliard d'euros (EEA, 2007). Si la forte vulnérabilité des Pays-Bas aux submersions marines en fait un cas très particulier, le Royaume-Uni et la France ne négligent pas non plus les économies permises par un plan national d'adaptation au réchauffement climatique, et ce, quelles que soit les incertitudes scientifiques existantes. Le tableau suivant expose de façon synthétique l'avancée des politiques d'adaptation néerlandaise, anglaise et française selon six grands axes.

Pays/ Année du plan d'adaptation	Engagement politique	Interface science et politique	Stratégie de communication	Gouvernance	Intégration des politiques sectorielles	Suivi, évaluation et revue
Pays-Bas/ 2008						
Royaume-Uni/ 2008						
France/ 2006						

Légende :

	Fort engagement politique et large implication des parties prenantes	Programmes de recherches pour l'adaptation et interface science/politique bien organisés	Stratégie de communication formalisée et portails d'informations référents sur l'adaptation	Gouvernance multi-niveaux formalisée et coordination des mesures d'adaptation en place	Mesures d'adaptation intégrées dans la plupart des politiques sectorielles	Mécanismes de suivi et de revue de la stratégie formalisés
	Engagement politique significatif et engagement de plusieurs parties prenantes	Quelques recherches sur l'adaptation et interface science/politique partiellement organisée	Stratégie de communication informelle et existence de portails d'information sur le changement climatique	Gouvernance multi-niveaux formalisée et coordination des mesures d'adaptation planifiée	Mesures d'adaptation partiellement intégrées dans les politiques sectorielles	Mécanismes de suivi et de revue de la stratégie informels
	Engagement politique et des parties prenantes limité	Pas d'interface science/politique	Pas de communication ni de portails d'information	Gouvernance multiniveaux et coordination des mesures d'adaptation informelles	L'intégration de mesures d'adaptation dans les politiques sectorielles est une exception	Pas de mécanisme de suivi et de revue de la stratégie

Tableau 20 : (accompagné d'un tableau de légende) : Matrice récapitulative des stratégies nationales d'adaptation pour les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la France. *Source : d'après le groupe interministériel « Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France », rapport de la deuxième phase. Septembre 2009, pp. 54-55.*

Le Royaume-Uni est, en 2009, le pays le plus avancé dans la mise en œuvre d'une politique d'adaptation au réchauffement climatique et remplit de façon satisfaisante quatre des six critères affichés : un engagement politique fort intégrant largement les parties prenantes, des programmes de recherche en adéquation avec les besoins politiques, une stratégie de communication formalisée et une évaluation et remise en question de la stratégie nationale permises par un suivi satisfaisant des données multiples requises. En ce qui concerne la gouvernance et l'intégration des politiques sectorielles à la stratégie nationale, la démarche doit être complétée mais est néanmoins lancée.

Les Pays-Bas sont en revanche les plus avancés en terme de gouvernance et font preuve d'une bonne coordination entre les différents échelons nationaux, régionaux et locaux des mesures d'adaptation adoptées. Les résultats français, enfin, ont été établis sur la base de la Stratégie nationale adoptée en 2006⁴⁰, qui a été revue, pour ce qui concerne le territoire littoral, en 2012. Une réunion interne de présentation de la Stratégie nationale de gestion du trait de côte, qui a eu lieu en juin 2012 et à laquelle il a été possible d'assister, faisait part de deux difficultés déjà mentionnées en 2006 et non résolues à ce jour : une difficulté à établir

⁴⁰ Stratégie Nationale d'Adaptation au Changement Climatique, 2007, téléchargeable sur le site de l'ONERC

une gouvernance multi-niveaux formalisée d'une part, l'absence de coordination entre les suivis, lorsqu'ils existent, effectués à l'échelle régionale ou départementale d'autre part. Ces deux points constituent donc une priorité pour les années à venir et l'effort est déjà engagé par le gouvernement.

Conclusion Chapitre 7

Les progrès techniques et l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement du littoral ont progressé à peu près au même rythme dans les trois pays. En revanche, les attitudes de chacun adoptées face aux prévisions du GIEC montrent de fortes différences. Les Pays-Bas envisagent le pire et à très long terme, l'Angleterre se montre prudente et complète les projections nord-ouest européennes par un scénario plus pessimiste, tandis que la France paraît beaucoup moins alarmiste. Pour expliquer ces écarts, d'autres facteurs, plus subjectifs, d'ordre culturel, doivent être pris en compte. Les représentations sociales de la mer, des tempêtes et des risques naturels à l'échelle nationale peuvent sans doute exercer une influence non négligeable dans l'orientation des choix de gestion proposés par les ingénieurs.

CHAPITRE 8

Orientations politiques et contraintes économiques

L'intégration du mouvement « vert » aux politiques d'aménagement du territoire, son appropriation par les ingénieurs, l'amélioration des connaissances sur le fonctionnement du littoral et des échanges entre scientifiques théoriciens et ingénieurs aménageurs, l'évolution de la formation même de ces derniers ainsi que la prise en compte d'incertitudes non levées sur les conséquences du réchauffement climatique, sont autant de facteurs explicatifs de l'évolution des représentations et des pratiques de gestion des ingénieurs. Ces facteurs ont été décrits à travers différentes phases de transition, propres à chaque pays. Ce chapitre a pour objet d'analyser plus précisément certaines ruptures dans la planification de la protection côtière telles la tempête de 1953 et celle de 2010 et les attitudes adoptées en conséquence par les gouvernements pour construire et ajuster leur stratégie nationale de gestion côtière. En effet, si les échanges croissants entre scientifiques et ingénieurs ont permis de renouveler les solutions de gestion du littoral, le champ d'action et la force de proposition des ingénieurs restent également conditionnés par la présence et les orientations plus ou moins fortes de l'État. L'analyse de la réaction de ce grand acteur de la gestion côtière face aux événements tempétueux dramatiques peut permettre de mieux saisir le cadre dans lequel les ingénieurs ont été amenés à réfléchir et à orienter leurs pratiques de gestion. De même, la comparaison des coûts et des bénéfices engendrés par les différentes solutions de gestion permet de comprendre dans quelle mesure le facteur économique aiguille les choix finaux.

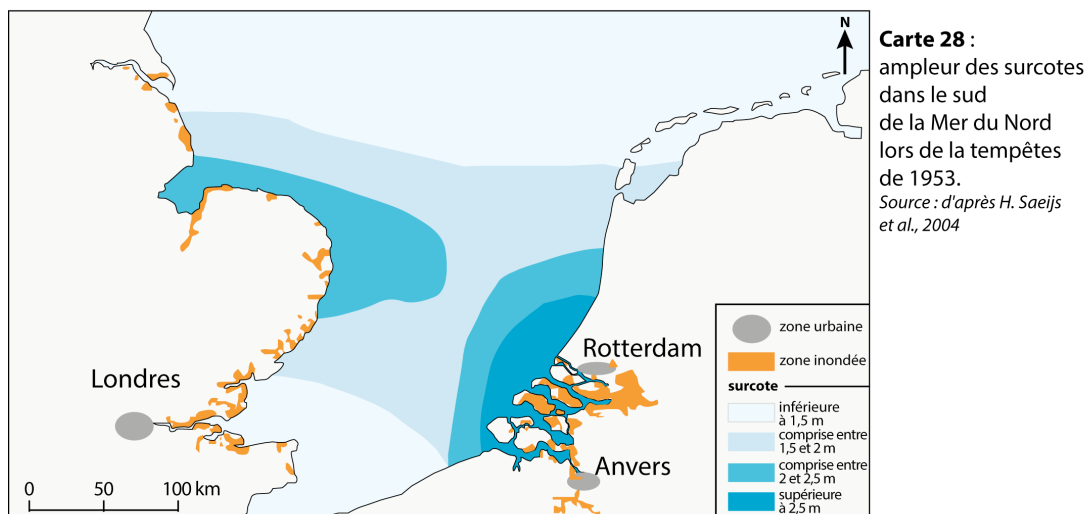
I. Attitudes adoptées par les gouvernements néerlandais, anglais et français face aux tempêtes les plus sévères du XX^e siècle

La France a été épargnée par la tempête de 1953, contrairement à l'Angleterre et aux Pays-Bas. En revanche, le pays a été marqué par la tempête Xynthia, beaucoup plus récente, mais dont le caractère destructeur permet d'établir un point de comparaison avec celle de 1953, dernier événement du genre ayant provoqué de nombreuses victimes dans le Nord-Ouest européen. Une brève description de la conjonction des facteurs météo-marins à l'origine des deux tempêtes permettra de mieux comprendre les décisions politiques prises en conséquence.

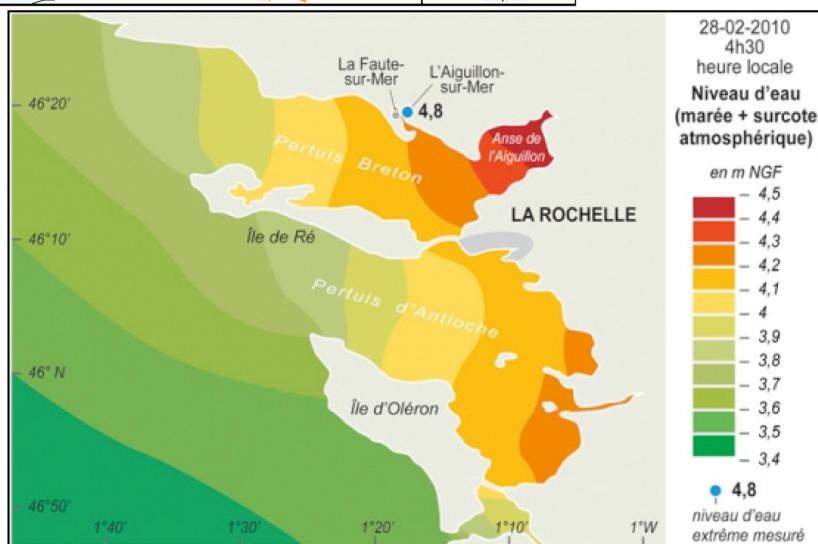
A. Caractéristiques des tempêtes de 1953 et de 2010
--

La tempête de 1953 et la tempête Xynthia présentent plusieurs points communs, tant par leurs conséquences dramatiques que par leurs caractéristiques. Les vents enregistrés dans les nuits du 31 janvier 1953 et du 28 février 2010 approchaient les mêmes vitesses, allant respectivement jusqu'à 180 km/h sur les côtes zélandaises et 160 km/h sur l'île de Ré.

**Fiche 7 : comparaison des aléas tempétueux de 1953 et 2010
et des dommages engendrés en Angleterre, aux Pays-Bas et en France**



Carte 29 :
niveaux d'eau, tenant compte de la marée et des surcotes atmosphériques, ayant atteint les côtes de Vendée et de Charente-Maritime lors du passage de Xynthia
Sources : BRGM, 2010 et CGEDD, 2010



	Pays-Bas	Angleterre	France
Aléas			
Vitesse maximale des vents	180 km/h	180 km/h	160 km/h
Coefficient de marée	83	83	102
Surcote maximale	4,55 m	2,50 m	4,70 m
Conséquences directes (en nombre et en km)			
Victimes	1836	307	47
Personnes évacuées	72 000	32 000	10 000
Animaux d'élevage morts	35 000	46 000	nc
Hectares inondés	136 500	50 000	160 000
Brèches	900	2000	nc
Linéaire de digues affectées	500	1600	75 (Vendée), 120 (Char.-Mar.)
Principales décisions politiques prises après les événements			
Plan / stratégie	Mise en œuvre du plan Delta	Rehaussement systématique des digues	Plan Submersions Rapides
Systèmes d'alerte	Amélioration	Amélioration	Maintien Stratégie nationale (2012) Amélioration

Tableau 21 : comparaison des aléas, des conséquences directes et des décisions politiques postérieures aux deux tempêtes, aux Pays-Bas, en Angleterre et en France. Sources : Lumbroso et al., 2011 ; BRGM, 2010 ; CGEDD, 2010 ; Slomp, 2010 ; Gerritsen, 2005 ; Saeijs et al., 2004 ; Van Veen, 1962.

De même, le système dépressionnaire des deux tempêtes évoluait autour de 975 hPa, leur conférant un niveau fort mais non exceptionnel (Bijker, 2002 ; Garnier *et al.*, 2011).

Ces vents ont été accompagnés dans les deux cas d'une marée de tempête, c'est-à-dire de la combinaison d'un phénomène météorologique associé à des basses pressions et d'un phénomène marin associé à une marée de vive-eau (Feuillet *et al.*, 2012). La marée de tempête correspond donc à une montée exceptionnelle du niveau de la mer qui peut se produire lors de tempêtes « classiques » et en l'absence de coefficient de marée exceptionnel – le coefficient de marée était de 102 sur une échelle de 120 dans la nuit du 28 février 2010 (Chauveau *et al.*, 2012) et comparable à celui de la tempête de 1953 (Slomp, 2012). Ce phénomène météo-marin a par ailleurs été renforcé par la morphologie des côtes. Le resserrement des côtes au sud de la mer du Nord, peu profonde de surcroît, a joué un rôle comparable au goulet d'étranglement dessiné par l'estuaire du Lay en Vendée, séparant la flèche sableuse de la Pointe d'Arçay du rivage de l'Aiguillon-sur-Mer. Cette morphologie estuarienne a provoqué un gonflement du plan d'eau qui explique en partie la différence de hauteur des surcotes enregistrées à La Rochelle (4,55 m NGF) et à l'Aiguillon-sur-Mer (4,80 m NGF), mais qui aurait pu être bien plus important si le Lay avait été en crue, ce qui n'était pas le cas lors de la tempête. La fiche 7 met en évidence les caractéristiques et les conséquences des deux tempêtes pour les trois pays.

Les deux tempêtes ont révélé le manque d'efficacité des dispositifs de protection côtière dans les trois pays. Plus qu'une rupture marquant un changement radical de leur politique en la matière, ces tempêtes ont accéléré la mise en œuvre d'une réflexion plus ou moins aboutie, mais déjà en chantier et propre aux enjeux de chacun. Ainsi, les gouvernements anglais et néerlandais par exemple, n'ont pas réagi de la même façon à la suite de la tempête de 1953.

B. Des stratégies nationales variées et progressivement mises en place ?

1. Vers une consolidation dynamique de la stratégie néerlandaise

Les Néerlandais étaient conscients, avant la tempête de 1953, des faiblesses de leur système de protection côtière, puisqu'ils avaient déjà entrepris des travaux de fermeture du Zuiderzee s'inscrivant dans un plan national, dont les deux étapes suivantes consistaient à fermer les estuaires zélandais puis la mer des Wadden (Van Veen, 1962). En effet, si la tempête de 1953 a touché principalement cette fois la Zélande, d'autres tempêtes avaient tour à tour meurtri les provinces de Hollande méridionale et septentrionale et le nord du pays (Frise et Groningue).

Ainsi, en 1953, cette énième tempête a joué le rôle d'accélérateur à la mise en œuvre d'une réflexion déjà en place (VanKoningsveld *et al.*, 2007). Cette accélération s'explique par l'ampleur des conséquences de la tempête qui a révélé de nombreuses défaillances relevant d'une mauvaise communication de l'alerte à la population, d'un mauvais entretien des digues

dont certaines n'avaient pas été confortées depuis l'époque napoléonienne, d'un manque de coordination entre les différents services en charge de la protection côtière et enfin d'un manque d'efficacité des moyens de financement mis en œuvre (Slomp, 2012). Dans ce contexte d'urgence mais aussi dans un objectif d'harmonisation et de consolidation des premiers efforts accomplis est né le Plan Delta, marquant définitivement l'engagement politique et financier du pays. Les travaux du Plan Delta étaient estimés à 3,3 milliards de florins, soit 20% du PIB à l'époque (Nikkels, 2010). Cet effort financier considérable se justifiait sans difficulté par la menace vitale que représentaient les submersions marines pour le pays. Le devoir de protection des citoyens néerlandais a d'ailleurs été inscrit quelques années plus tard en 1986 dans la Constitution, devenant officiellement une priorité absolue. La vulnérabilité du pays s'était en effet renforcée d'année en année par la pression démographique croissante, le développement, sous le niveau de la mer, du principal centre économique du pays, la subsidence continue des terres poldérisées. La réalisation du Plan Delta s'est traduite par une centralisation croissante de la gestion de l'eau, qui s'est effectuée à trois niveaux.

Tout d'abord, le gouvernement s'est attelé à la rédaction d'une stratégie nationale, donnant ainsi une direction claire à l'ensemble des acteurs concernés. Cette stratégie a pris une forme réglementaire en 1958 avec le *Delta Act*. Cette loi mentionne, outre la fermeture des estuaires, l'adoption de niveau de sécurité (Cf. carte 10, ch. 4). Avant la tempête de 1953, les digues, lorsqu'elles étaient rehaussées, gagnaient environ 1 mètre par rapport au dernier niveau d'eau le plus élevé connu. Après 1953, des méthodes scientifiques de calcul ont été utilisées pour déterminer une période de retour et un niveau de risque dit « acceptable » pour les Néerlandais. Cependant, l'idée de déterminer le niveau de rehaussement des digues à effectuer, non par observation mais par calcul scientifique, avait déjà pris corps avant la tempête qui n'a constitué que « *le point de départ de l'utilisation de ces calculs comme outils de prédilection dans la gestion du risque inondation* » (Slomp, 2012, p. 14).

Par ailleurs, le système d'alerte à la population a été entièrement revu. Avant 1953, la population disposait d'un service payant pour être informée par télégraphe. Or les lourdes conséquences de la tempête ont montré de façon évidente que l'alerte devait être beaucoup plus efficace et gratuite pour être adressée à l'ensemble des citoyens néerlandais. Cette décision s'est traduite par le rassemblement des agents des services hydrographique et météorologique et la centralisation de la transmission d'information à la population (Slomp, 2012).

Enfin, l'organisation institutionnelle de la gestion de l'eau a été redessinée sans toutefois exclure les plus anciennes formes de démocratie du pays, les *waterschappen*. Ces agences de l'eau, qui existaient dès le XIII^e siècle, relevaient d'un système décentralisé qui cohabitait avec l'agence nationale de l'eau, le *Rijkswaterstaat*, établie en 1798 (Bijker, 2002). En 1953, le pays comptait 2500 *waterschappen* et de multiples autres acteurs, tels les provinces, les communes ou les propriétaires privés, pour entretenir les digues. Afin de clarifier la situation, le nombre de ces agences a progressivement été réduit et leur compétence élargie. Il existe aujourd'hui 25 *waterschappen* qui gèrent la presque totalité du parc de digues primaires (3500 km) et secondaires (15 000 km) du pays ainsi que la qualité

des eaux. Progressivement, l'organisation institutionnelle néerlandaise s'est façonnée pour aboutir à la structure suivante.

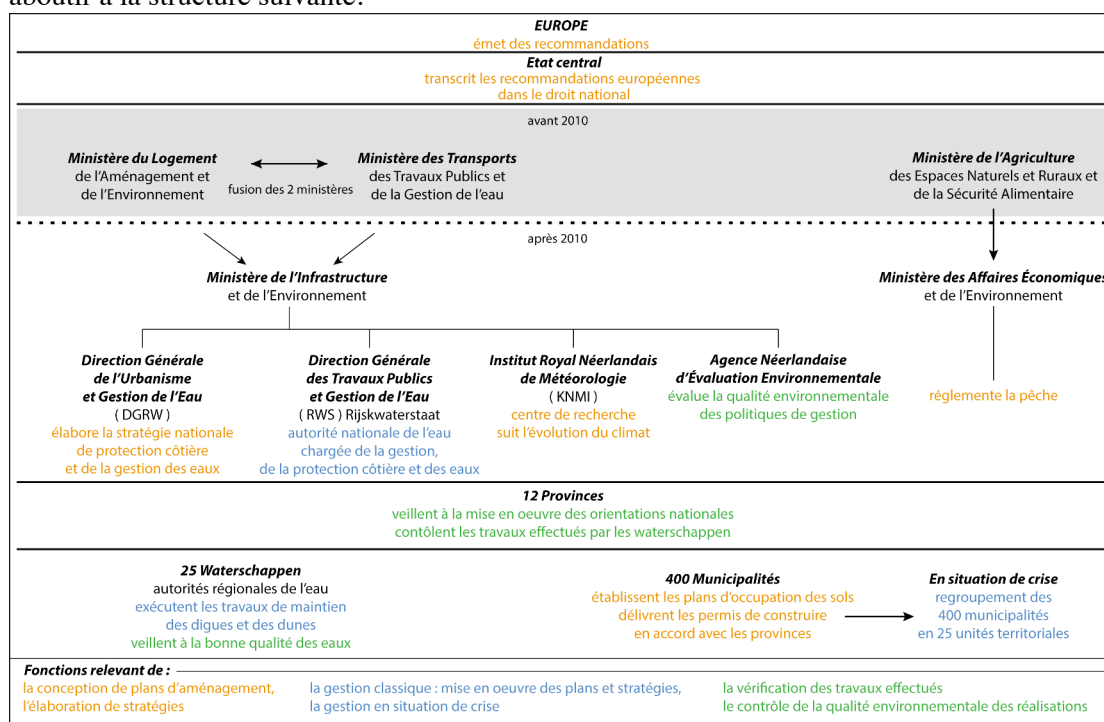


Figure 33 : organisation institutionnelle de la gestion de l'eau aux Pays-Bas

Sources : d'après de Ruig, 1995 ; Huisman, 2006 ; Slomp, 2012, site du gouvernement : www.government.nl (consulté pour la dernière fois en avril 2014)

Les orientations politiques de gestion de l'eau sont aujourd'hui formulées par l'État central, intégrant lui-même les recommandations européennes. Jusqu'en 2010, trois ministères se partageaient la responsabilité de la gestion des eaux. Il y a quatre ans, le Ministère des Transports, des Travaux publics et de la Gestion de l'eau a fusionné avec celui du Logement, de l'Aménagement et de l'Environnement pour former le Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement. Deux directions générales, un institut et une agence sont désormais responsables de la protection contre les inondations et les submersions marines. La DGRW, créé en 2002, élabore les stratégies nationales en la matière et le *Rijkswaterstaat* supervise la mise en œuvre de la politique de l'eau dans les provinces par le biais des *waterschappen*. Le *Rijkswaterstaat* a également la charge d'entretien des barrages, écluses et autres ouvrages de protection (digues ou dunes) d'intérêt national. L'Agence Néerlandaise d'évaluation environnementale évalue la qualité environnementale des politiques nationales et notamment la qualité des eaux. Enfin la Direction Générale de l'Agriculture dépendant du Ministère des Affaires Économiques (Ministère de l'Agriculture et de l'Aménagement des Espaces Naturels et Ruraux avant 2010) intervient entre autres dans la réglementation de la pêche. Les *waterschappen* ont la charge d'exécuter les travaux nécessaires au maintien des digues et des dunes. Les 12 provinces ont la responsabilité de contrôler les travaux effectués par les *waterschappen* et ainsi de maintenir la cohérence entre objectif stratégique national et objectifs opérationnels régionaux et locaux. Enfin les 400 municipalités sont responsables de

l'établissement des plans d'occupation des sols et de la délivrance des permis de construire en accord avec les provinces. Lors de gestion de crises, ces municipalités se regroupent en 25 unités territoriales de sécurité.

Ainsi, la politique actuelle de gestion côtière néerlandaise résulte d'une réflexion ancienne mais non figée. Plusieurs géographes, dont A. Miossec, reconnaissent volontiers cette qualité néerlandaise : « *en aucun endroit au monde, un État n'a, comme aux Pays-Bas, remis en cause ses propres pratiques* » (Miossec, 1993, p. 306). L'intégration de nouveaux enjeux écologiques, nous l'avons vu, a provoqué un réajustement du Plan Delta au début des années 1970. De même, au milieu des années 1980, alors que les travaux du plan étaient arrivés à leur terme, les Pays-Bas ont réévalué ses bénéfices défensifs, estimant que ce dernier avait répondu efficacement à la submersion marine mais non à l'érosion. Le gouvernement a alors lancé une vaste étude visant à mieux comprendre les mécanismes d'érosion du littoral et plus particulièrement des dunes. En effet, les dunes s'étendent sur 72 % du littoral néerlandais (Hillen *et al.*, 1995). La compréhension des différents cycles de démaigrissement et de rechargement des dunes caractéristiques de leur dynamique à court, moyen et long termes, était donc vitale pour le pays.

Ce programme national avait quatre objectifs : 1/établir un état des lieux quantitatif de la dynamique morpho-sédimentaire, 2/mettre en place des indicateurs de suivi, 3/dégager la tendance évolutive des différents compartiments côtiers pour le siècle à venir et, enfin 4/offrir au gouvernement, sur une base scientifique, différentes options susceptibles de contribuer à l'élaboration d'une stratégie nationale (Paskoff, 1993). Sa force résidait dans la façon dont la complexité du processus d'érosion et sa gestion a été abordée. Outre le caractère pluridisciplinaire de l'étude qui associait ingénieurs, géologues, géographes physiciens et humains, climatologues, archéologues et autres scientifiques (Paskoff, 1993), celle-ci allait plus loin en accordant le même crédit aux méthodes et techniques de recherche des uns et des autres. Ainsi, la recherche fondamentale sur la dynamique des dunes dans les processus d'érosion était aussi importante que la recherche appliquée à la gestion des dunes (Miossec, 1993). De même, la combinaison des approches naturaliste, empirique, théorique et modélisatrice était encouragée, mettant d'emblée en avant la complémentarité des ingénieurs et des scientifiques, plus que leur concurrence (Paskoff, 1993). À l'issue du programme de recherche pluridisciplinaire, le gouvernement a décidé le maintien du trait de côte tel qu'il était en 1990 mais en optant pour une gestion dynamique et non plus fixiste. Pour ce faire, le volume de sable à recharger a été calculé en distinguant la position du trait de 1990 (*Basal Coast Line* : BCL) de celle du trait de côte mesurée à un instant t (*Momentary Coast Line* : MCL) (Fig. 34).

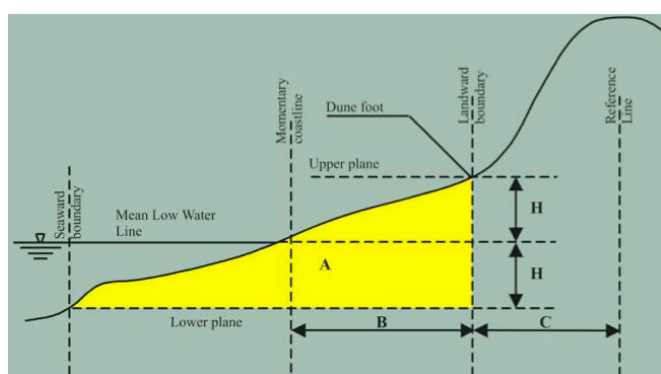


Figure 34 : Position du *Momentary Coast Line* ($B=A/2H$). Source : Taal *et al.*, 2007.

Le *Momentary Coast Line* (distance B sur le schéma) correspond à la surface du triangle dont le côté le plus long est égal à l'estran (seaward boundary – landward boundary) divisé par la hauteur du triangle (limite du pied de dune). La position du trait de côte est mesurée tous les ans et fait l'objet tous les trois ans du rechargement en sable nécessaire. La figure 35 schématise le cycle triennal du programme de lutte contre l'érosion adopté depuis 1990.

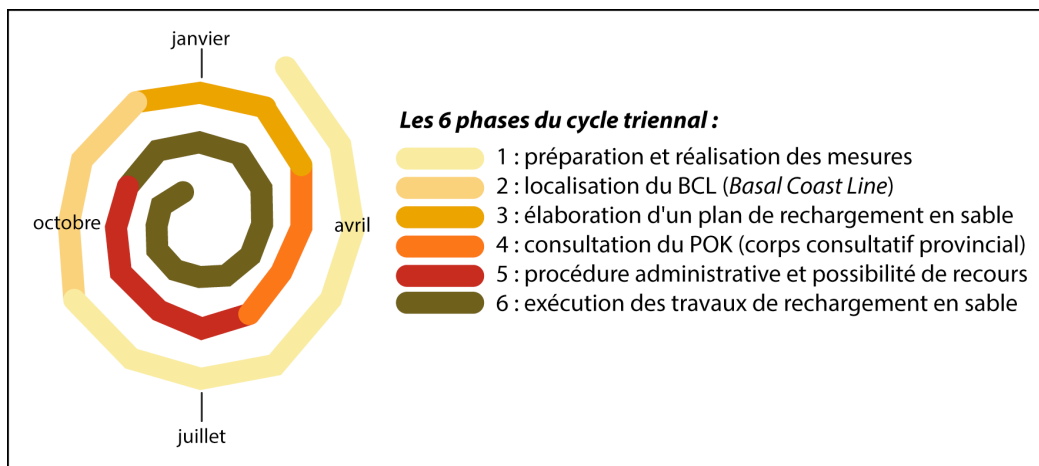


Figure 35 : Schématisation du programme triennal de rechargement en sable
 Source : d'après Taal et al., 2007

Le cycle triennal montre bien la réflexion dynamique mise en place par les Néerlandais : dès que des travaux de rechargement sont effectués, de nouvelles mesures sont prises comme référence pour le prochain rechargement qui aura lieu trois ans plus tard.

Au drame de la tempête de 1953, les Néerlandais ont répondu par une attitude offensive nuancée par une aptitude rarement égalée à se remettre en question. L'histoire ancienne de construction du territoire national montre que cet état d'esprit et cette capacité à innover ont toujours existé. L'année 1953 a ainsi marqué une accélération plus qu'une réelle rupture dans la mise en œuvre d'une gestion planifiée et d'une vision de plus en plus dynamique du littoral. Les ingénieurs néerlandais, à la fois moteurs et bénéficiaires de cet état d'esprit, travaillent donc dans un cadre de réflexion dynamique, sans cesse tourné vers l'innovation. La dernière stratégie nationale publiée en 2008 rend bien compte de cette tendance illustrée par un mode de communication particulièrement optimiste, qui sera analysé plus avant. Sur la rive ouest de la mer du Nord, la réaction anglaise a été globalement plus hésitante au lendemain de la tempête de 1953 et n'a pas abouti dans l'immédiat à l'élaboration d'une stratégie nationale de gestion côtière comparable.

2. L'oubli de la tempête de 1953 en Angleterre ?

Les 307 victimes déplorées et les multiples dégâts provoqués par la tempête ont également révélé les faiblesses des systèmes de protection côtière et d'alerte à la population. À la suite de cette tempête, trois grandes décisions ont été prises. Tout d'abord, un système

national d'alerte - le *Storm Tide Warning Service* regroupant services météorologiques et marins en une seule unité - a été très rapidement mis sur pieds (Baxter, 2005). Par ailleurs, la décision de protéger la région londonienne particulièrement vulnérable, est devenue une évidence. La construction d'un barrage amovible sur la Tamise a donc été décidée puis achevée en 1984. En revanche, la question de la stratégie à adopter pour protéger la côte est a été plus délicate. En effet, le rapport de la commission *Waverley*¹ a vivement critiqué l'urbanisation croissante et non maîtrisée du littoral, tenant cette évolution pour grandement responsable des dégâts provoqués : « [...] le résultat de ce développement sporadique et inconsidéré près des côtes a engendré des dépenses inutiles [...] qui sont venues s'ajouter aux frais d'entretien ou d'amélioration des équipements existants »² (Palmer et al., 1996, p. 250). De même, la commission soulignait le manque de coordination entre les services d'aménagement du territoire et la politique de protection côtière, exclusivement fondée à l'époque sur l'endiguement et la poldérisation et destinée prioritairement à maintenir et accroître les surfaces agricoles de l'est du pays, garantes de la sécurité alimentaire nationale. Le gouvernement était donc conscient que les problèmes soulevés par la tempête relevaient d'une absence de stratégie nationale en matière de protection côtière. Pourtant, c'est la solution de rehaussement systématique des digues qui a été privilégiée sans réel approfondissement de réflexion. Effectivement, bien que la cote de rehaussement des digues faisait l'objet de débats depuis les grandes inondations de 1947, la décision de prendre pour référence le niveau atteint par les eaux en 1953 ne relevait pas d'une discussion scientifique, mais d'une réponse politique quelque peu hâtive : « Il s'avère que la référence au niveau atteint par la mer lors de la tempête de 1953 n'a pas résulté d'un débat scientifique mais d'une décision politique qui ne pouvait suggérer un niveau plus bas »³ (Lumbroso et al., 2011, p. 2327). Ainsi, un an après la tempête, le gouvernement pouvait annoncer non sans fierté : « Douze années de travaux ont été effectuées en douze mois »⁴ (Lumbroso et al., 2011, p. 2326).

La tempête de 1953 a donc confirmé la nécessité d'établir une stratégie nationale de gestion du littoral sans toutefois l'avoir véritablement lancée. Sa construction ne s'est finalement concrétisée qu'au début des années 1990, lorsque la durée d'efficacité des travaux effectués entre 1953 et 1954 a pris fin⁵. Or, en quarante ans, les connaissances scientifiques et les priorités politiques avaient largement évolué. L'amélioration des connaissances sur les processus d'érosion et de sédimentation du littoral de même que la prise en compte de l'accélération de l'élévation du niveau marin avaient fait émerger l'idée d'une nouvelle échelle de gestion plus pertinente (celle des cellules sédimentaires) et de la création de *Coastal Groups*⁶. Enfin, la Grande-Bretagne était progressivement passée d'une politique de poldérisation à visée économique, à une politique de dépoldérisation à visée à la fois défensive et écologique (Goeldner-Gianella, 2013). C'est donc la conjonction de ces

¹ Commission créée au lendemain de la tempête pour analyser les causes du désastre et proposer au gouvernement une orientation en matière de protection côtière.

² « [...] the result of sporadic and ill-considered development near the coast has led to unnecessary expense [...] by way of additional expenditure on restoration and improvements works »

³ « It would appear that the use of the 1953 level did not come about as the result of a scientific debate but because it would have been politically impossible to suggest a lower level »

⁴ « 12 years' work had been completed in 12 months »

⁵ source : entretiens menés auprès d'ingénieurs et géomorphologues de *Environment Agency*.

⁶ voir ch. 5, carte 24

différents facteurs qui a véritablement orienté et fait naître le besoin d'une réflexion globale sur la gestion côtière à mettre en œuvre. Ainsi, certains auteurs mentionnent l'oubli de la tempête de 1953 pour expliquer par exemple l'acceptation plus forte qu'en Allemagne ou aux Pays-Bas par la population britannique de la dépoldérisation comme possible solution de gestion du littoral (Goeldner-Gianella, 2013 ; Rupp-Armstrong *et al.*, 2007). Il est vrai que le sentiment de sécurité de la population, accru par des digues plus solides, plus larges et plus hautes, a pu paradoxalement diminuer la culture du risque, faire oublier les conséquences de la tempête de 1953 et finalement augmenter, par le biais d'une urbanisation croissante du rivage, la vulnérabilité de la population littorale (Lumbroso *et al.*, 2011). Des universitaires anglais ont calculé que le nombre d'habitants avait augmenté de façon beaucoup plus spectaculaire le long de la côte Est, tout comté confondu, que dans le reste du pays : entre 1951 et 1991, la population anglaise et galloise a augmenté de 12%, contre un minimum de 16,9 % dans le North Norfolk et 92 % dans le Broadland, pour une augmentation médiane de 44,7% (Baxter *et al.*, 2001). Plus que totalement oubliées, les conséquences de la tempête de 1953 ont été « mises de côté » pour ressurgir quarante ans plus tard. Enfin, la centralisation de la gestion côtière s'est opérée progressivement, élargissant les compétences de l'Agence de l'Environnement pour aboutir *in fine* au schéma d'organisation institutionnelle suivant.

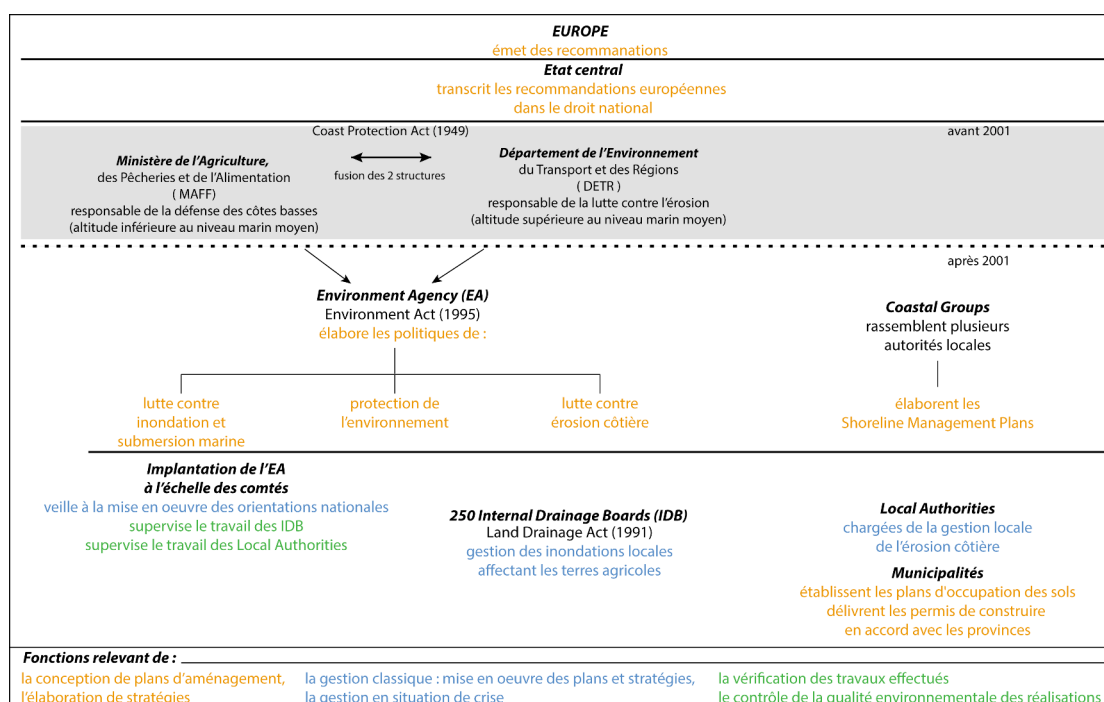


Figure 36 : organisation institutionnelle de la gestion côtière en Angleterre. Sources : Goeldner, 1999 ; site de Environment Agency ; entretiens.

Environment Agency a désormais la responsabilité de prévenir les risques de submersion marine comme d'inondation d'origine fluviale, de maintenir en bon état les quelques 84 000 km d'ouvrages divers de protection et d'améliorer la communication pour restaurer la culture du risque. Par ailleurs, *Environment Agency* a mis au point un système rigoureux de classification, d'enregistrement et de contrôle de l'état des ouvrages de défense côtière et

fluviale, en établissant une base de données systématique (Lumbroso *et al.*, 2011). Enfin, depuis 2007, cette structure a également la possibilité d’opposer un droit de veto face aux autorités locales lorsque des divergences de points de vue, relatives au développement d’un projet d’aménagement en zone à risques, ne peuvent se résoudre par le biais de la concertation. Ainsi, les autorités locales et les municipalités, qui ont *a priori* la charge d’aménager localement leur territoire, peuvent se voir refuser un projet si celui-ci ne concorde pas avec les directives nationales émanant du DEFRA.

3. Xynthia, ou la « zone noire » de l’État français

La tempête Xynthia a quelque peu bouleversé les efforts engagés pour mettre en œuvre une gestion intégrée du littoral. Trois ans plus tôt en effet, le gouvernement avait déjà décidé la fusion de deux grands ministères : ceux de l’Équipement et l’Environnement. Cette réforme historique de l’administration s’est effectuée progressivement à partir de 2008 à tous les échelons, depuis l’État central jusqu’aux services déconcentrés régionaux et départementaux en passant par les établissements publics. (Tab. 22).

État central		Région	Département	Établissements Publics
Ministère des Transports, de l’Équipement du Tourisme et de la Mer + Ministère de l’Écologie, de l’Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM)	Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC) + Inspection Générale de l’Environnement (IGE)	Direction Régionale de l’Équipement (DRE) + Direction Régionale de l’Environnement (DIREN) + Direction Régionale de l’Industrie, de la Recherche et de l’Environnement (DRIRE)	Direction Départementale de l’Équipement (DDE) + Direction Départementale de l’Agriculture et de la Forêt (DDAF) + Direction Départementale des Affaires Maritimes (DDAM) + une partie des services environnementaux de la préfecture	8 Centres d’Études Techniques de l’Équipement (CETE) + Centre d’études sur les réseaux, les transports, l’urbanisme et les constructions publiques (CERTU) + Centre d’études techniques, maritimes et fluviales (CETMEF) + Service d’études sur les transports, les routes et leurs aménagements (SETRA)
2007	2008	2009-2011	2009	2014
Ministère de l’Écologie, de l’Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM)	Conseil Général de l’Environnement et du Développement Durable (CGEDD)	Direction Régionale de l’Environnement, de l’Aménagement et du Logement (DREAL)	Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM)	Centre d’Études et d’Expertise sur les risques, l’Environnement, la mobilité et l’Aménagement (CÉREMA)

Tableau 22 : Détail de la fusion des branches de l’Équipement et de l’Environnement et année de cette fusion. Sources : site du ministère de l’Écologie, du Développement Durable et de l’Énergie : www.developpement-durable.gouv.fr/, consulté la dernière fois le 5 avril 2014 ; www.cerema.fr, consulté la dernière fois le 5 avril 2014.

Outre la simplification de l’organisation de l’administration centrale et déconcentrée, et l’harmonisation des résultats des études produites par les établissements publics, cette nouvelle structure avait pour objectif de renforcer la concertation et une approche décloisonnée de la gestion du territoire. De façon générale, le ministère de l’Équipement, le Conseil Général des Ponts et Chaussées et les services déconcentrés correspondant

réunissaient les IPC (Ingénieurs des Ponts et Chaussées) et les ITPE (Ingénieurs des Travaux Publics de l'État), tandis que la création du ministère de l'Environnement en 1971 avait plutôt fait appel aux IGREF (Ingénieurs du Génie Rural, des Eaux et des Forêts) que l'on pouvait également retrouver dans les services déconcentrés correspondants (DIREN et DDAF).

Les IPC et les ITPE avaient traditionnellement une vision très technique du littoral qui consistait généralement à réaliser des ouvrages de lutte contre l'érosion côtière. De l'autre côté, les IGREF avaient une vision plus souple et travaillaient, en concertation avec les Établissements Publics de recherche, sur les causes de l'érosion côtière plus que sur la réparation de leurs conséquences⁷.

Depuis sa création en 1971, le Ministère de l'Environnement a pris peu à peu une importance considérable dans le paysage politique, et il est devenu de plus en plus évident qu'une politique de l'environnement ne pouvait être définie sans concertation avec son voisin et concurrent de longue date : le Ministère de l'Équipement. En 2007, la fusion a donc donné naissance au MEEDDM (Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer), marquant la volonté de l'État d'orienter définitivement sa politique vers une gestion intégrée du territoire. La disparition des mots « équipement » et « aménagement »⁸ semble d'ailleurs significative de cette évolution. Deux ans plus tard les corps des IPC et des IGREF, dont la distinction n'avait plus grand sens au sein de ce nouveau ministère, ont également fusionné pour créer le corps des IPEF (Ingénieurs des Ponts, des Eaux et des Forêts). De même, la fusion des corps des ITPE, IAE, ITGCE, ITM⁹ s'est opérée fin 2012 pour laisser place aux « ingénieur des [ITPE-IAE-ITM-ITGCE] » (Pescatori G., *et al.*, 2011).

La démarche de fusion des ministères et des corps qui s'est opérée à partir de 2007 allait donc dans le sens de la Stratégie nationale de Gestion du trait de côte qui était alors en préparation. Le guide *La gestion du trait de côte*, publié en 2010 et commandé par le MEEDDM, peut être considéré comme la pierre angulaire de cette Stratégie qui a été publiée deux ans plus tard. L'introduction du guide insiste sur la nécessité de mettre en œuvre une vision intégrée du littoral. Après avoir décrit les différents types de côtes et expliqué la dynamique des principaux courants marins et estuariens, les auteurs y prônent une étude systématique des quatre grandes solutions de gestion côtière envisageables : 1/ ne rien faire ; 2/ intervenir de façon limitée (ex : planter des oyats pour stabiliser les dunes) ; 3/ maintenir le trait de côte (par endiguement, enrochement ou rechargement) ; 4/ organiser le replis stratégique. La quatrième solution est la plus épineuse à mettre en œuvre. Même en Angleterre, pays qui cumule pourtant une expérience de plus de vingt ans en la matière, le recul stratégique est difficile à faire accepter à la population et plusieurs années de dialogue sont systématiquement nécessaires. C'est pourquoi la tempête Xynthia - et en particulier la méthode de délimitation des « zones noires » et la précipitation avec laquelle le Plan Digue a été annoncé à la population - a freiné l'ambition de la Stratégie visant à mettre en œuvre une gestion raisonnable et durable du littoral et en particulier à étudier les possibilités de reculs stratégiques. Les nombreux changements de noms des zones d'abord « noires » puis

⁷ Source : entretiens

⁸ Le ministère a parfois pris le nom de ministère de l'Aménagement comme ce fût le cas de 1995 à 1997 : Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports.

⁹ Ingénieurs des Travaux Publics de l'État (ITPE), Ingénieurs de l'Agriculture et de l'Environnement (IAE), Ingénieurs des Travaux Géographiques et Cartographiques de l'État (ITGCE), Ingénieurs des Travaux de la Météorologie (ITM).

« rouges » puis « de solidarité », de même celui du Plan Digue devenu PSR (Plan Submersions Rapides) montrent le désarmement du monde politique face à cet événement – désarmement que les ingénieurs en charge de l'élaboration de la Stratégie ont subi de plein fouet :

« Même s'il a été rebaptisé ensuite, l'avoir appelé Plan Digue, c'est catastrophique ! Parce que ça a laissé sous-entendre aux gens qu'on était capable de construire des ouvrages pour se protéger contre n'importe quel type d'événement. Ce qui est totalement contraire et contradictoire avec les messages qu'on veut faire passer. Mais il y a une annonce politique et on est obligé de s'en emparer¹⁰ ».

Ainsi, alors que la concertation était naissante et donc encore fragile entre ingénieurs ex-équipement et ingénieurs ex-environnement, l'arrivée de ce Plan Digue au cours de l'élaboration de la Stratégie nationale n'a pas aidé au dialogue entre les anciens corps d'ingénieurs puisque ce dernier a été placé sous l'autorité de la Direction Générale de la Prévention des Risques alors que l'élaboration de la Stratégie nationale, sous celle de la Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature. Le schéma de synthèse suivant expose la nouvelle organisation des services concernés par la gestion du littoral au sein du ministère et indique les missions de chacun ainsi que leur échelle d'intervention.

¹⁰ Entretien auprès d'un ingénieur du Cetmef

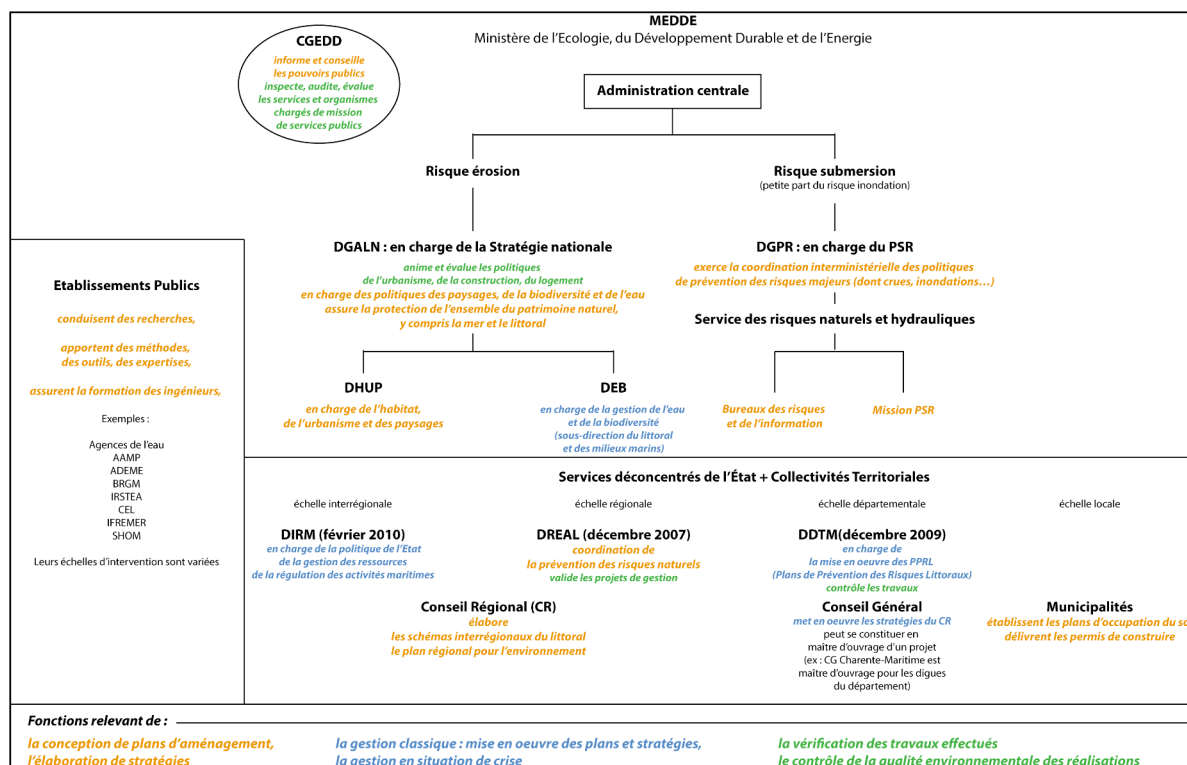


Figure 37 : Organisation actuelle des services principaux concernés par la gestion du littoral.

CGEDD : Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable ; DGALN : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature ; DGPR : Direction Générale de la Prévention des Risques ; DHUP : Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages ; DEB : Direction de l'eau et de la Biodiversité ; DIRM : Direction Interrégionale de la Mer ; DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement ; DDTM : Direction Départementale des Territoires et de la Mer. Sources : site du ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie : www.developpement-durable.gouv.fr/, consulté la dernière fois le 5 avril 2014 ; entretiens.

Il peut paraître étrange d'avoir organisé ce schéma en distinguant la thématique de l'érosion du trait de côte de celle de la submersion. Mais ceci reflète une réalité bien ancrée : malgré les fusions des ministères puis des corps d'ingénieurs, l'organisation actuelle des services repose principalement sur cette distinction. Pour tout géographe du littoral cette forme d'organisation ne peut être qu'aberrante : comment, en effet, réfléchir à des modes complexes de gestion intégrée du littoral, tenant compte de l'imbrication de facteurs physiques, humains, environnementaux et économiques, lorsque les deux principaux facteurs physiques à l'origine de la dynamique du littoral (érosion et submersion) sont ainsi cloisonnés ? Cette distinction des services a pour conséquence une redéfinition des priorités des services :

« Du point de vue de la DGPR, l'érosion n'est pas un risque majeur ce qui veut dire que l'érosion n'est pas une priorité. Or l'érosion, si elle n'est pas traitée,

peut provoquer des risques de submersions marines qui eux, sont considérés comme majeurs¹¹ ».

L'organisation actuelle des services ne permet donc pas toujours de pouvoir anticiper la gestion d'un risque potentiel de submersion marine mais oblige d'une certaine façon à attendre que l'érosion rende le risque submersion suffisamment concret pour agir.

La tempête Xynthia a donc contribué à complexifier l'articulation des différents services et outils de gestion. Cependant, malgré cette distinction faite entre Plan Submersions Rapides et Stratégie nationale au niveau de l'administration centrale, les deux documents n'ont pas la même portée et ne sauraient être mis en concurrence : le PSR est un outil de financement répondant à l'une des solutions recommandées par la Stratégie : le confortement des digues. Sa mise en œuvre est conditionnée par l'État. D'une part la délivrance d'un financement issu du Fonds Barnier ne peut être attribuée qu'à une collectivité. Si par ailleurs cette collectivité a pour projet des travaux de rehaussement de digues, celle-ci doit auparavant avoir obtenu la labellisation par l'État d'un PAPI (Programmes d'Actions de Prévention contre les Inondations). Les PAPI *« ont été lancés en 2002. Ils ont pour objet de promouvoir une gestion intégrée des risques d'inondation en vue de réduire leurs conséquences dommageables sur la santé humaine, les biens, les activités économiques et l'environnement »*¹². Ces documents, généralement portés par des communautés de communes, sont établis à l'échelle d'un bassin de risque inondation homogène et dépasse donc les limites communales. Cette échelle de réflexion permet de définir avec cohérence les cotes des ouvrages concernés. D'autre part, la seconde condition au déblocage de fonds concerne la prescription par l'État des PPRL (Plans de Prévention contre les Risques Littoraux). Cet outil réglementaire est proposé par l'État aux collectivités et doit être pris en compte dans les règles d'urbanisme. Lorsqu'un accord est trouvé entre l'État et les collectivités, ces dernières doivent attendre que l'État prescrive, c'est-à-dire entérine les PPRL avant de pouvoir présenter un dossier pour bénéficier d'un financement étatique lié au PSR.

Si le parcours menant au Fonds Barnier montre bien la volonté de l'État de faire en sorte que les collectivités locales reprennent la maîtrise d'ouvrage des digues, on peut toutefois se poser la question de l'efficacité des efforts de rationalisation mis en œuvre par l'État. En effet, les territoires concernés par les PPRL et les PAPI ne sont pas les mêmes. Il existe par exemple un PPRL pour la commune de la Faute-sur-Mer et un pour l'Aiguillon-sur-Mer alors que le PAPI les concernant regroupe de nombreuses autres communes. La juxtaposition de ces deux documents semble ainsi compliquer les choses pour les gestionnaires en alimentant ce qui est communément appelé le « millefeuille administratif français », dénoncé à maintes reprises en entretien par les personnes rencontrées. Par ailleurs, le PSR ne concerne pas uniquement les submersions marines, mais également les crues rapides ou soudaines. Sur les 500 millions d'euros mis à disposition par le Fonds Barnier, une

¹¹ extrait d'entretien d'un ingénieur travaillant à l'élaboration de la Stratégie nationale

¹² définition donnée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Les-programmes-d-actions-de.24021.html>, consulté le 5 avril 2014.

faible proportion est attribuée aux submersions marines et la majeure partie concerne finalement les submersions liées aux crues rapides. Les communes littorales souhaitant réaliser des travaux de confortement et/ou rehaussement de digues se trouvent donc en compétition avec d'autres unités également éligibles auprès du Fonds Barnier et portant par exemple les Plans Grands Fleuves. Enfin, la cour des Comptes, dans un rapport publié en juillet 2012, a revu à la baisse l'enveloppe générale du Fonds Barnier, valable jusqu'en 2016¹³, ce qui renforce une compétition déjà rude.

Cependant, malgré une certaine déstabilisation provoquée par la tempête Xynthia, la mise en œuvre de la Stratégie nationale a poursuivi ses objectifs. Un gros effort de recueil de données et de communication auprès des collectivités territoriales est en cours. La mise à jour des catalogues sédimentaires publiés dans les années 1980 par différentes structures comme le STCPMVN (Service Technique Central des Ports Maritimes et des Voies Navigables) ou le CETMEF (Centre d'Études Techniques Maritimes ou Fluviales) est prévue pour 2015. Pour ce faire, l'État a mobilisé les ressources existantes : travaux universitaires, Observatoires du Littoral, résultats de divers programmes de recherche pour tenter d'uniformiser les données qui seront mises à disposition des gestionnaires entre autres. Cette démarche se justifie doublement : d'une part les services de l'État n'ont plus les effectifs nécessaires pour effectuer un tel travail de collecte de données et d'autres part cela permet d'impliquer les structures existantes et donc de développer la concertation entre ces structures et les services de l'État. Enfin cette démarche est conforme à la Directive INSPIRE, dont le but est « *d'établir en Europe une infrastructure de données géographiques pour assurer l'interopérabilité entre bases de données et faciliter la diffusion, la disponibilité, l'utilisation et la réutilisation de l'information géographique*¹⁴ ». Ainsi, les extraits d'entretien exposés dans le chapitre 5 (ch. 5 II.C.1.c) relatant « une gestion optimisée du littoral français loin d'être atteinte » se comprennent d'autant mieux que les résultats des efforts engagés par l'État seront communiqués fin 2014 et ne sont donc pas encore visibles. Or ces démarches de mise en réseau des données collectées et de communication vont dans le sens d'une gestion optimisée du littoral telle que plusieurs personnes interviewées en France l'imaginent.

Les tempêtes de 1953 et 2010, de façon différente, ont marqué les politiques de gestion côtière des trois pays, faisant naître, parfois avec plusieurs années de décalage, ou accélérant l'élaboration d'une Stratégie nationale de gestion du littoral. La lecture de ces stratégies a par ailleurs révélé des techniques de communication propres à chaque pays. Or l'analyse des entretiens (cf. ch. 5) a montré que la communication auprès des populations des nouveaux modes possibles de gestion côtière faisait partie des difficultés récurrentes auxquelles les ingénieurs étaient confrontés dans l'exercice de leur métier. Comment les gouvernements s'emploient-ils à communiquer leur stratégie ? Quels sont les leviers de communication développés par les trois gouvernements ? Comment peuvent-ils contribuer à aider les ingénieurs à mettre en œuvre les stratégies nationales de gestion du littoral et donc promouvoir des modes de gestion plus « verts » ?

¹³ Rapport de la Cour des comptes, juillet 2012, « *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var* », 299 p.

¹⁴ Définition donnée par le site : <http://inspire.ign.fr/directive/presentation>, consulté le 5 avril 2014.

C. Quels leviers de communication mis en œuvre dans les stratégies nationales ?

L'analyse des stratégies nationales et régionales néerlandaise, anglaise et française de gestion du littoral¹⁵ montre de nombreuses similitudes et notamment une vision partagée d'une gestion dite intégrée reposant sur les trois piliers de développement durable : les dimensions économique, sociale et environnementale.

En ce qui concerne le degré d'intégration de ces stratégies, une première différence majeure doit être relevée : l'Angleterre comme les Pays-Bas ont rédigé une stratégie nationale particulièrement large puisqu'elle ne distingue pas la gestion des rivières et des estuaires, de celle du littoral. La stratégie néerlandaise s'ouvre ainsi : « (...) *La hausse prévue du niveau de la mer et les grandes fluctuations des débits fluviaux nous obligent à voir loin pour élargir notre vision et anticiper les développements futurs. Pour ce faire le Cabinet a nommé une nouvelle commission 'Delta' intitulée Commission du développement durable du littoral, avec pour objectif de formuler une vision sur le long terme de la protection du littoral néerlandais et des terres amont*¹⁶ » (Deltacommissie, 2008, p. 5). De même, la stratégie anglaise explique en introduction : « *Les récentes inondations, de 1998 et 2000 et plus récemment à Carlisle, de même que le rapport « Anticipation des inondations futures », ont souligné le besoin pour le gouvernement de développer une stratégie intégrée, complète anticipant la gestion des risques d'inondation, de submersion et d'érosion à venir en Angleterre*¹⁷ » (DEFRA, 2005, p.7). La concentration fluviale aux Pays-Bas - grand delta européen dans lequel se déversent la Meuse, le Rhin et l'Escaut - et la répétition d'inondations sévères en Angleterre (2007 et 2013 par exemple), notamment dans les estuaires de la Humber et de la Tamise expliquent ces entrées en matière.

Par ailleurs, les trois stratégies s'inscrivent dans le temps long avec une prévision d'évolution jusqu'en 2100 pour la France et l'Angleterre, jusqu'en 2200 pour les Pays-Bas. Si l'objectif des trois stratégies est commun et consiste à limiter la vulnérabilité des populations face aux risques inondation, submersion et érosion, des différences existent dans la façon de communiquer cet objectif.

¹⁵ DEFRA, 2005, *Making space for water, Taking forward a new Government strategy for flood and coastal erosion risk management in England*, p. 47 ; Deltacommissie, 2008, *Working together with water. A living land builds for its future*, 134 p. ; MEDDE, 2012, *Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte. Vers la relocalisation des activités et des biens*, 20 p.

¹⁶ « The predicted sea level rise and greater fluctuations in river discharge compel us to look far into the future, to widen our scope and to anticipate developments further ahead. For that reason the Cabinet appointed a 'new' Delta Committee, the Sustainable Coastal Development Committee, with the mandate to formulate a vision on the long-term protection of the Dutch coast and its hinterland »

¹⁷ « Recent flooding incidents, such as the serious events in 1998 and 2000 and more recently in Carlisle, and the Foresight Future Flooding report, have highlighted the need for Government to develop a comprehensive, integrated and forward-thinking strategy for managing future flood and coastal erosion risks in England »

1. Les Pays-Bas ou l'approche par le bien-être et de nouvelles opportunités à saisir

Ce pays, où il a été si difficile de s'établir pendant des siècles, célèbre pour la lutte sans relâche de ses habitants pour se préserver des invasions marines et fluviales, n'a cessé de se forger une image positive reposant sur le bien-être et la qualité de vie. Cette volonté affichée se retrouve dès l'introduction de la stratégie nationale : « *Le challenge des Pays-Bas pour le siècle à venir ne concerne pas une menace à combattre. [...] La question fondamentale, centrale dans ce rapport est plutôt : 'Comment pouvons-nous nous assurer que notre pays sera toujours attractif, pour y travailler comme pour y investir et y vivre pour les générations futures ?'*¹⁸ » (Deltacommissie, 2008, p. 7). Ainsi, aux Pays-Bas, toutes les réflexions et les recherches de solutions innovantes pour combiner des enjeux sécuritaires, économiques et environnementaux, partent de cette question : comment maintenir et améliorer le bien-être pour la génération actuelle mais aussi pour les générations futures. L'approche de la gestion de l'eau – douce et marine - se fait donc par le fait de donner envie aux gens de vivre ici plutôt qu'ailleurs. Ce constat est tout à fait spécifique à ce pays et semble partagé par l'ensemble des acteurs du littoral, dont un grand nombre abordait en entretien la question de la gestion du littoral de la façon suivante : « *La première question que vous devez vous poser est : à quoi voulons-nous que notre littoral ressemble ?*¹⁹ ». Par ailleurs, les contraintes et incertitudes liées au réchauffement climatique sont abordées de façon positive et présentées comme une véritable opportunité de réflexion à long terme et donc de développement de solutions innovantes de gestion. Le mot *opportunité* fait définitivement partie du vocabulaire des acteurs néerlandais de la gestion de l'eau ; preuve en est, deux chapitres y sont consacrés dans la stratégie nationale : « *2. Fondement des conseils : défis et opportunités ; 3. Une vision intégrée pour saisir des opportunités*²⁰ ». En quoi consistent ces opportunités à saisir ? Elles sont de deux ordres. Le premier repose sur la notion de développement durable, le second sur une opportunité économique. La notion de développement durable est présentée de façon générale comme le fait de prendre des décisions aujourd'hui qui amélioreront à moyen et long termes la qualité de vie des Néerlandais et leur cadre de vie. Rapportée au littoral cette notion consiste à se rapprocher le plus possible des processus naturels (Deltacommissie, 2008, p. 39). Il est ainsi tout à fait exclu d'envisager la gestion de l'eau et du littoral, sans prendre en compte des enjeux environnementaux et écologiques tout aussi fondamentaux que la sécurité pour la rendre optimale : « *Ce que nous voulons est un environnement dans lequel les gens se sentent chez eux, [...] où il y a suffisamment de place pour la nature [...]. Cela demande plus que d'assurer la simple sécurité*²¹ » (Deltacommissie, 2008, p. 37). Enfin, l'investissement financier pour la gestion de l'eau est considérable aux Pays-Bas. Bien sûr les enjeux multiples sont suffisamment forts pour les justifier. Mais la recherche d'un retour sur investissement est également présente et une part des investissements a pour objectif l'exportation de nouvelles techniques de gestion. C'est le cas par exemple du projet *ZandMotor*, pour lequel de nombreux suivis ont été mis en place, tant pour évaluer cette nouvelle solution, que pour

¹⁸ « *The challenge to The Netherlands in the coming centuries is not primarily a threat. [...] The fundamental question, central to this report is 'How can we ensure that future generations will continue to find our country an attractive place in which to live and work, to invest and take their pleasure ?'* »

¹⁹ « *The very first question you have to ask is : what do we want our coast to look like ?* »

²⁰ « *2. Foundation of the advice : challenges and opportunities : 3. An integrated vision to create opportunities* »

²¹ « *What is wanted is a living environment where people feel at home, [...] where there is space for nature [...]. This demands more than safety alone* »

pouvoir l'exporter et maintenir l'expertise et la renommée internationale du pays dans le domaine.

2. L'Angleterre : une approche essentiellement économique

Les Anglais, bien qu'ils mettent également en avant l'amélioration de l'environnement littoral, ont développé au cours des dernières années une communication reposant principalement sur des arguments économiques. On retrouve par exemple dès l'introduction de la stratégie de gestion de la pointe de Selsey, sur la côte sud, les propos suivants : « *Les fonds de financement du gouvernement central sont limités et une forte compétitivité existe entre les différentes portions du littoral du pays*²² ». Autrement dit, les solutions de gestion innovantes telles le *managed realignment*²³ sont présentées à la population comme une solution alternative au manque de moyens financiers pour rehausser toutes les digues. La stratégie de gestion de l'estuaire de la Humber va même plus loin dans son avant-propos : « *Nos fonds sont limités, [...] et nous ne serons pas en mesure d'améliorer toutes les défenses côtières existantes de l'estuaire. Ce résumé expose les zones concernées [...]. Il y aura des perdants et des gagnants [...]*²⁴ ». Ce choix de communication est assez étonnant lorsque l'on sait l'Angleterre pionnière en matière de dépoldérisation et à l'origine de nombreux articles sur les avantages défensifs et écologiques que peuvent offrir ce mode de gestion. Mais cette façon de communiquer semble admise, ou du moins elle n'a jamais été remise en cause, de façon spontanée ou non, par les acteurs rencontrés : personne n'a souhaité donner d'avis personnel sur ce point. Pourtant, des difficultés majeures liées à la communication des projets avec le public ont très souvent été mentionnées²⁵. C'est ainsi qu'un environnementaliste travaillant pour *Environment Agency* indiquait que de gros efforts devaient être faits pour améliorer la concertation et la consultation avec le public : « *Cela a pris 3 ou 4 ans de communication pour convaincre la population que Environment Agency allait continuer de les protéger, même par le biais du managed realignment*²⁶ ». La crainte de ces populations, à qui l'on a répété qu'un défaut de financement ne permettrait pas de conforter toutes les digues qui les protègent, est par conséquent assez compréhensible.

Enfin, pour appuyer le choix d'une opération de *managed realignment* en certains endroits, la ligne de communication consiste bien souvent à se retrancher derrière les obligations européennes en terme de protection de l'environnement : « *Environment Agency a également l'obligation de protéger les habitats dont les prés salés et les vasières qui participent au réseau Natura 2000*²⁷ ». Ce choix de communication est justifié par une crainte des acteurs du littoral de voir la population considérer que le gouvernement préférerait protéger les oiseaux plutôt que les gens ! C'est en tout cas de cette façon que la démarche

²² « The amount of funding available from the central government to provide defences is limited and there is strong competition for these funds from areas around the country »

²³ retrait contrôlé de la première ligne de digue

²⁴ « Our funds are limited, [...], so we will not be able to improve all the estuary's defences. This summary highlights the areas that could be affected (...). There will be losers as well as winners (...) »

²⁵ Cf. Ch 5 II.C.1.b

²⁶ « It took three or four years of communication to convince people that the EA would protect them also by implementing managed realignment »

²⁷ « The Environment Agency also has a legal obligation to protect habitats including inter-tidal salt marsh and mudflats that form part of a network of internationally designated sites (known as the Natura 2000 network) »

consistant à intégrer des enjeux environnementaux dans tout projet de gestion côtière ou estuarienne a été justifiée par de nombreuses personnes rencontrées. Là encore, l'approche est tout à fait différente de celle des Pays-Bas : il ne s'agit pas temps de créer un environnement littoral plus agréable à vivre par l'intégration d'enjeux environnementaux par exemple, mais de répondre aux conséquences d'une lourde crise économique et de nombreuses obligations européennes en matière de protection de l'environnement. Il se dégage de ce mode de communication une vision très pragmatique de la gestion côtière anglaise.

3. La France : une approche systématiquement orientée vers les risques littoraux

La stratégie française, quant à elle, aborde systématiquement la gestion du littoral par le biais des risques littoraux. Le vocabulaire employé dans la Stratégie nationale va dans ce sens : les termes de *risques*, de *défense contre la mer* ou encore de *lutte* contre l'aléa marin sont récurrents. L'introduction de la stratégie nationale débute ainsi : « *Le Grenelle de la Mer propose que la France se dote d'une stratégie nationale (État et collectivités territoriales) et d'une méthodologie de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer* » (MEDDE, 2012, p. 2). De même le terme de *risque* n'apparaît pas moins de 53 fois sur un document d'une quinzaine de pages ! Les lourdes conséquences de la tempête Xynthia, qui s'est abattue sur les côtes deux ans avant la publication de la Stratégie, rendent tout à fait compréhensible l'accent mis sur les risques littoraux. Pourtant la réorganisation qui a suivi montre certaines contradictions. D'une part l'annonce précipitée du Plan Digue est allé à l'encontre de la culture du risque : en somme, elle indiquait que, quelle que soit la vulnérabilité, il était possible de se protéger de l'aléa météo-marin par la construction et le renforcement de digues. C'est pour cette raison que les ingénieurs chargés d'élaborer ce plan ont rapidement suggéré un autre nom : Plan Submersion Rapide afin de mettre l'accent non plus sur un ouvrage de protection mais bien sur les risques inondation et submersion marine. D'autre part, cette approche par le risque, si elle est nécessaire aux yeux de la majorité des acteurs rencontrés pour restaurer la culture du risque en France, a parallèlement été remise en question lorsqu'elle devient systématique : « *On ne fait réagir les gens que par la trouille dans ce pays ! Et le risque marche bien à cause de ça* »²⁸. Or cette peur n'incite par exemple pas à développer une vision à long terme et encore moins des opportunités de gestion que peut aussi permettre l'élévation du niveau marin (restauration de zones humides, amélioration des zones de frayères et nourricerie bénéfiques pour l'activité piscicole, développement d'un tourisme de nature plus respectueux de l'environnement etc.).

Enfin, les conditions permettant d'accéder au Fonds Barnier pour financer des travaux de confortement de digues ne vont pas toujours dans le sens de la culture du risque. En effet, ce fonds ne peut être attribué qu'à des collectivités²⁹. L'objectif de l'État était de clarifier les responsabilités, mais ceci a aussi eu pour conséquence en certains endroits de condamner le travail des associations syndicales chargées de contrôler les digues :

²⁸ Extrait d'entretien effectué avec un ingénieur

²⁹ Entretiens

Avoir exclu les associations syndicales « *c'est aussi faire fi d'une réalité de terrain. Dans le sud Vendée, il existe l'association syndicale de la vallée du Lay qui dispose d'une quarantaine de kilomètres de digues, qui a toujours fait ce qu'il fallait, qui avait les techniciens et le matériel. Et donc le fait de leur dire on ne vous finance plus, c'est mettre un coup de canif dans la culture du risque parce qu'on va prendre d'autres personnes qui ne connaissent pas le secteur, qui ne connaissent pas les accès, qui n'ont pas l'habitude, qui ne savent pas par où la mer va venir, qui ne savent pas où sont les enjeux précisément et quel est le morceau de digue le plus fragile par rapport à l'autre. Or ces personnes vont devenir maître d'ouvrage !³⁰* »

Si la restauration de la culture du risque est nécessaire, elle peut être aussi être communiquée de façon positive en y associant les opportunités de gestion qui peuvent permettre de diminuer la vulnérabilité des populations et des activités présentes sur le littoral.

La tonalité de communication des Stratégies nationales analysées montre des différences culturelles qui peuvent expliquer en partie les résultats détaillés dans le chapitre 5 et notamment certaines difficultés mentionnées par les ingénieurs pour mettre en œuvre sur le terrain ces principes d'action. Un autre aspect, celui des coûts de gestion et du coût des nouvelles solutions préconisées, peut définitivement orienter les choix des acteurs de la gestion côtière.

II. Au-delà de la volonté politique, le rôle des ingénieurs dans la maîtrise des coûts

Si le bagage technique est incontournable pour définir le rôle des ingénieurs, la maîtrise du coût d'un projet fait historiquement partie de leurs attributions. Lorsqu'a été demandé aux ingénieurs de définir leur rôle, le volet économique d'un projet a été mentionné à plusieurs reprises. Et ceci était valable pour les ingénieurs d'État comme pour les ingénieurs travaillant dans le privé :

« L'ingénieur est l'homme de la synthèse. Celui qui arrive à faire la synthèse de tous les éléments à prendre en compte : techniques bien sûr, mais aussi environnementaux, sociaux ET économiques. C'est un rôle extrêmement important de l'ingénieur de ne pas laisser déraiper les coûts d'un chantier. »³¹

De l'autre côté du chantier, se trouvent des ingénieurs travaillant en bureau d'étude. Pour eux aussi l'aspect économique d'un chantier est très important, voire vitale :

« Quand j'ai été embauché quelques années après ma sortie de l'École [ENPC], on m'a dit : « maintenant il faut qu'on t'apprenne le métier parce que tout ce

³⁰ Extrait d'entretien d'un ingénieur

³¹ Extrait d'entretien d'un ingénieur français de génie civil travaillant pour l'État.

que tu as appris c'est théorique ! Le métier d'ingénieur ce n'est pas ça ! [...] Nous on t'embauche, mais il faut que tu gagnes ton salaire, et pour gagner ton salaire il te faut des clients. À l'École on ne m'avait jamais enseigné qu'un ingénieur devait avoir des clients et qu'il devait faire des devis. Il a donc fallu que j'apprenne toute cette partie du métier qui est très importante. »

En Angleterre, la maîtrise des coûts par l'ingénieur est également très importante et est explicitement affichée par l'État dans les brochures d'information au public. Un ingénieur de l'Environment Agency m'expliquait ainsi :

« Quel que soit le projet, nous devons respecter un ratio bénéfices/coûts qui doit être supérieur à 5 pour 1. »³²

Autrement dit, les bénéfices économiques du projet doivent être au moins cinq fois supérieurs à son coût, faute de quoi la solution retenue ne peut pas être financée entièrement par l'État. Ce ratio a évolué au cours des dernières décennies, mais son usage comme outil d'aide à la décision n'est pas nouveau en Angleterre comme l'expliquait cet ingénieur français arrivé dans le pays au début des années 1990 pour y travailler plusieurs années :

« J'ai trouvé que l'Angleterre était beaucoup plus avancée que la France. Par exemple, en 1993, on parlait déjà de gestion intégrée de la zone côtière dans les bureaux d'étude. Je ne pense pas que c'était le cas en France à la même époque. [...] De la même façon j'ai découvert la méthode d'analyse coûts/bénéfices là-bas : les projets ne pouvaient être financés que si le bénéfice était supérieur à certaines valeurs. [...] Un des objectifs étaient de pouvoir quantifier les dégâts à éviter. Il y avait des travaux de recherche, faits par des scientifiques, sur le coût de remise en état d'une maison, inondée par une tranche d'eau de 20 cm, 40 cm, 50 cm etc. Tout ça a été affiné depuis, mais ces ratios existaient déjà en 1993 et on devait en tenir compte pour justifier l'intérêt des travaux ».

L'importance du facteur économique dans l'orientation des décisions est particulièrement bien mise en avant dans le cas de Selsey-Medmerry. En effet, toutes les solutions y figurent, allant du renforcement des digues au *managed realignment*, et offrent ainsi un aperçu assez complet des coûts de chaque solution envisagée.

³² « whatever is the project, we have to achieve a ratio of benefits to costs that needs to be greater than 5 : 1 »

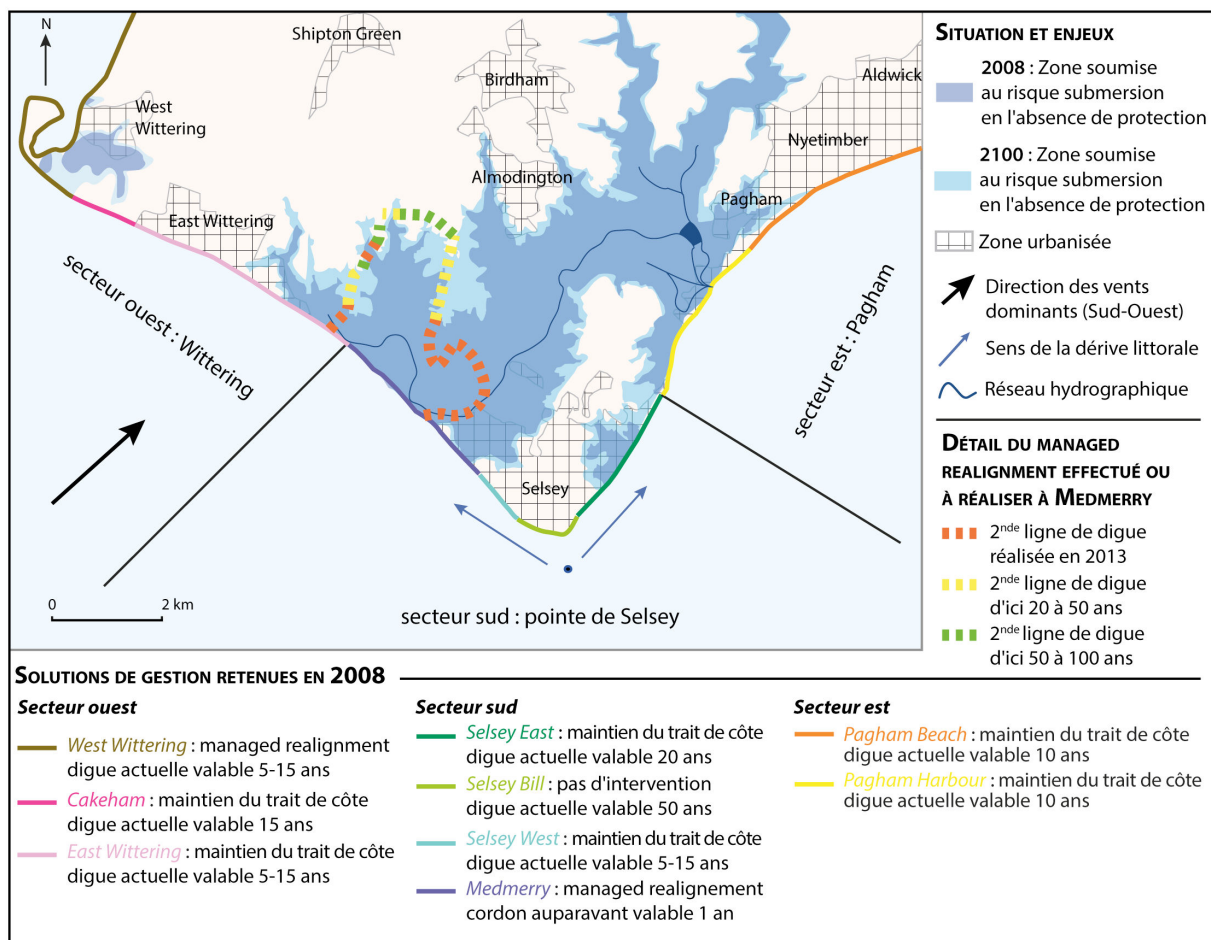
A. Le coût d'une solution, un facteur important dans l'orientation des choix finaux :
exemple de Selsey/Medmerry en Angleterre

1. Bref historique et enjeux présents

La pointe de Selsey se situe sur la côte sud de l'Angleterre, à l'est de l'île de Wight. Par le biais de conquêtes successives de terres sur la mer, Selsey a perdu son caractère insulaire au début du XIX^e siècle. Elle constitue le point de divergence de la dérive littorale locale : l'une remontant vers le Nord-ouest, l'autre vers le Nord-Est. La présence de vents dominants en provenance du Sud-Ouest, rend particulièrement vulnérable la pointe de Selsey ouest et de Medmerry. Par ailleurs, la topographie basse à Medmerry, inférieure à 2 m d'altitude, renforce cette vulnérabilité. En effet, la zone littoral abritait en 2008 plus de 20 000 habitants, plusieurs ports de pêche et de plaisance (le port de Pagham et le port de Wittering sont les plus importants) et enfin le plus gros centre européen de caravanes à Medmerry. Environ 2000 caravanes sont implantées de façon permanente. Elles accueillent saisonnièrement de nombreux touristes, mais aussi une population démunie qui habite à l'année dans ces habitations mobiles. Des estimations produites par *Environment Agency* indiquent que le nombre d'habitants pourrait être multiplié par 1,5 voire 2 d'ici une cinquantaine d'années, augmentant inévitablement le risque d'érosion et de submersion marine pour ces personnes (EA, 2008).

Depuis les années 1950 une série d'épis de bois ou de béton a été implantée pour protéger cette portion du littoral des épisodes d'érosion et de submersion marine. Avant cela, le trait de côte reculait d'environ 8 m par an (EA, 2008). Au milieu des années 2000, dans un contexte économique fragile et en tenant compte des conséquences du réchauffement climatique, *Environment Agency*, en concertation avec les conseils généraux de Arun et Chichester, a réfléchi à une stratégie globale de protection du littoral allant de la plage de Pagham au nord-est de Selsey à West Wittering au nord-ouest de celle-ci (Carte 30). Cette stratégie devait remplir l'objectif d'une gestion durable et raisonnable de cette portion du littoral sud anglais. Trois solutions se sont donc offertes : 1/ ne pas intervenir à court, moyen ou long terme et accepter que la mer reconquière certaines terres ; 2/ maintenir le trait de côte en place, c'est-à-dire, entretenir les défenses en place et rehausser si nécessaire les digues pour améliorer les standards de sécurité ; 3/ procéder à un recul maîtrisé du trait de côte (*managed realignment*). La réflexion a été menée à long terme (cent ans), ce qui se traduit par une élévation d'un mètre du niveau marin en Angleterre, et plusieurs échelles spatiales ont été considérées : la stratégie envisagée doit en effet s'appliquer à l'ensemble du littoral décrit *supra* et répondre simultanément aux enjeux locaux spécifiques.

Fiche 8 : Selsey / Medmerry entre maintien du trait de côte et *managed realignment*



Carte 30 : les solutions de gestion retenue à Selsey / Medmerry. Source : Environment Agency, 2008 a et b ; Université de Southampton : www.southampton.ac.uk ; Google Earth, 2013 ; entretiens. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013.



Photo 51 : vue vers le sud-est de la pointe de Selsey / Medmerry. Source : Environment Agency, 2013.

2. Détails des enjeux et de l'analyse coûts/bénéfices déterminés pour les neuf sous-ensembles de la pointe Selsey/Medmerry

Le tableau 23 résume les enjeux présents et décline le coût de chacune des trois solutions décrites précédemment par l'étude « Planning for the future », menée conjointement par *Environment Agency* et les conseils généraux de Arun et Chichester (EA, 2008). La pointe de Selsey a été scindée en trois parties : la pointe elle-même, son flanc est et son flanc ouest. Chacun de ces secteurs a ensuite été divisé en sous-ensembles – neuf au total – de façon à mesurer le plus précisément possible les impacts positifs et négatifs de l'adoption d'une des trois solutions. Une analyse coûts/bénéfices des trois solutions a été appliquée pour chacun des neuf secteurs.

Dans six cas sur neuf, les enjeux en présence ont montré qu'une confortation du trait de côte était plus économique. Par exemple, le coût de maintien du trait de côte au-devant de Pagham Harbour, estimé à £ 5 millions, est pertinent dans la mesure où les économies et bénéfiques (principalement liés au tourisme) d'une telle option rapporteraient environ £ 28 millions. Le ratio coût/bénéfice, dans ce cas est de 5,6, donc supérieur à 5. Le financement des travaux était alors tout à fait justifiable auprès du gouvernement. Dans les autres cas, le ratio n'atteint pas le seuil de 5 : 3,5 pour East Wittering ou 2,25 pour Selsey West Beach. Ceci ne signifie pas que les solutions envisagées sont mauvaises : au regard des enjeux présents, le maintien du trait de côte reste pertinent. En revanche, le financement ne pourra provenir uniquement de l'État. Ainsi, *Environment Agency* a proposé d'autres méthodes de financement en précisant que non seulement les fonds publics sont limités, mais qu'ils sont aussi distribués à l'échelle nationale :

« Nous devons accepter le fait qu'attendre des fonds publics puisse être très risqué et très long. [...] Il y a en effet toujours un risque de voir d'autres projets présenter un degré de priorité plus élevé »³³

C'est pourquoi la deuxième possibilité de financement largement encouragée par l'État fait appel aux fonds privés. Si un projet de protection côtière voulu par la population locale est considéré par *Environment Agency* comme pertinent tant du point de vue technique qu'environnemental et ce à moyen voire long terme, alors l'État peut venir compléter dans une certaine mesure les fonds privés réunis. Cette stratégie impliquant la participation financière de la population et des activités exercées localement fonctionne à double sens. En effet, dans le cas de Medmerry, l'analyse coûts/bénéfices a montré qu'une option de réaligement contrôlé du trait de côte était la plus pertinente, bien que le ratio n'atteigne que 3,25 (£ 91 millions de bénéfices estimés pour un coût total de £ 28 millions). Par conséquent, l'État n'a pas financé seul ce projet et d'autres fonds ont dû être trouvés

³³ « We have to accept that waiting for national funding could be high-risk and lengthy. [...] there is always the risk that other schemes around the country will continue to have a higher priority »

Options	Pagham Beach	Pagham Harbour	Selsey East Beach	Selsey Bill	Selsey West Beach	Medmerry	East Wittering	Cakeham	West Wittering	
Ne pas intervenir										
Description	Les digues, épis et cordons de galets se détérioreront. Ces derniers se réaligèreront naturellement plus en amont de la ligne actuelle.		Les digues, épis et cordons de galets se détérioreront. Ces derniers se réaligèreront naturellement plus en amont de la ligne actuelle.			Les digues, épis et cordons de galets se détérioreront. Ces derniers se réaligèreront naturellement plus en amont de la ligne actuelle. La pointe de East Head disparaîtra sous l'érosion.				
Points positifs	Évolution naturelle du trait de côte Aucun frais d'entretien		Possibilité de créer de larges zones d'habitats naturels Aucun frais d'entretien			Possibilité d'augmenter les espaces intertidaux Aucun frais d'entretien				
Points négatifs	Imprévisibilité des conséquences Forts risques d'érosion et de submersion pour 510 habitations Perte d'habitats naturels		Risques d'érosion et de submersion pour : - 1550 habitations - 2000 caravanes - autres services et aménités locales			Risque d'érosion pour 650 habitations, un centre de vacances et autres aménités locales Pas de contrôle de la défense côtière : impacts possibles pour la navigation				
Coûts (millions £)	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	8 à 10	< 1	< 1	< 1	
Bénéf. (millions £)	NC ³⁴	NC	NC	3	NC	NC	NC	NC	NC	
Maintien du trait de côte										
Description	Relocalisation des galets évacués par la drêve littorale puis importation de nouveaux galets Entretien des défenses portuaires existantes Remplacement des épis d'ici 2028		Réparation des digues existantes Remplacement des épis		Difficulté technique de maintenir le front de mer		Réparation des digues existantes ; remplacement des épis		Réparation à court terme des digues ; exhaussement à moyen terme	Création d'une nouvelle digue de mer
Points positifs	Protection de habitations existantes Répond aux actuels engagements environnementaux ; Maintien de la plage Allonge le temps de réflexion pour une autre solution à envisager à moyen terme		Protection de l'ensemble des habitations et terres concernées Octroie un certain délai avant de perdre des terres			Protection de l'ensemble des habitations et terres concernées Octroie un certain délai avant de perdre des terres Réduction des risques d'érosion et de submersion pour le port				
Points négatifs	Ne répond pas aux engagements environnementaux à moyen et long termes Difficultés techniques croissantes		Augmente le risque de submersion si développement parallèle de nouvelles habitations et activités Augmente le besoin de financements à venir Pas en adéquation à long terme avec les engagements environnementaux			Augmente le besoin de financements à venir ; Non adéquation à long terme avec les engagements environnementaux ; Perte d'habitats protégés ; Ne solutionne pas le risque d'érosion à East Head				
Coûts (millions £)	3	5	13	6	4	80	8	5	> £ 50 millions	
Bénéf. (millions £)	4	28	57	NC	9	NC	28	10	NC	
Recul maîtrisé du trait de côte										
Description	Abandon des défenses existantes Révision et/ou construction ciblée d'une seconde ligne de digue		Impossible sans relocalisation des habitations	MR très limité en raison du nombre d'habitats présents	Impossible sans relocalisation des habitations	Possible à condition de recréer une digue arrière	Impossible à mettre en œuvre	Conséquences coordonnées avec l'évolution de East Head	Reconstruction d'une digue arrière	
Points positifs	Adapté aux effets du changement climatique gestion basée sur la dynamique littorale naturelle réduction à long terme des dépenses		Gestion basée sur la dynamique littorale naturelle Réduction des frais ultérieurs d'entretien Possibilité de créer de larges zones d'habitats naturels Régulation du risque de submersion			Protection efficace des enjeux présents Réelle adaptation au changement climatique Travail basé sur la dynamique littorale naturelle Réduction des frais d'entretien Les aménités environnementales de East Head sont préservées				
Points négatifs	Possibles impacts sur les habitats naturels Perte possible de l'accès à la plage Conséquences indéterminées à l'est de cette portion du littoral Augmentation du risque de submersion là où les défenses ne seront pas entretenues		Impacts pour les habitations et les terres Perte d'accès aux plages Peut interrompre le transport de galets en direction de Witterings			Perte d'un parking possible accrétion sédimentaire à l'entrée du port modification de certains usages faits des terres				
Coûts (millions £)	Dépend du développement du port d'ici 2030		NC	12	NC	28	NC	< 1	3	
Bénéf. (millions £)	NC	NC	NC	NC	NC	91	NC	NC	11	

Tableau 23 : analyse coûts / bénéfiques appliqués à chaque secteur de la pointe de Selsey / Medmerry en fonction des trois solutions envisagées. Sources : EA, 2008 a et b

³⁴ NC : non communiqué

Le propriétaire du camp de caravanes a donc proposé une participation financière personnelle. En contrepartie, ce dernier a pu moduler la décision finale et notamment le tracé de la digue de second rang. Dans un premier temps, cette solution impliquait de ne préserver qu'une partie du centre de caravanes. En participant financièrement au projet, le propriétaire du camping a obtenu de préserver l'intégralité de son site et ainsi de repousser plus à l'ouest la digue de second rang³⁵.

L'analyse coûts / bénéfices, appliquée dès le début de la réflexion, permet d'évaluer plusieurs solutions de gestion dans leurs grands traits tout en prenant en compte plusieurs échelles de temps (court terme : présent ; moyen terme : plus 20 ans et long terme : plus 100 ans). Cet outil de gestion permet dans un premier temps de faire ressortir une solution plus avantageuse que les autres. Puis, dans un second temps, l'analyse coûts / bénéfices est approfondie pour confirmer l'intérêt de la solution choisie. Par exemple, la première analyse effectuée en 2008 du *managed realignment* à Medmerry a déterminé un coût d'environ £ 10 millions pour un bénéfice de £ 40 millions. Une réévaluation ultérieure a montré que le coût de l'opération serait finalement de £ 28 millions, mais que son bénéfice serait de plus de £ 91 millions. Bien que le ratio coût / bénéfice soit alors passé de 4 à 3,25, la solution a été maintenue car elle s'avérait *in fine* toujours plus avantageuse que les autres solutions, mais les tenants et aboutissants économiques ont été mieux définis permettant à l'avenir d'avoir un meilleur recul sur le choix d'une telle solution et de pouvoir en tirer les enseignements nécessaires. Le paragraphe suivant propose un aperçu plus général des coûts et bénéfices tirés des solutions innovantes de gestion du littoral précédemment décrites.

B. Les solutions innovantes de gestion côtière sont-elles les plus économiques ?

Les solutions innovantes de gestion côtière présentées dans le chapitre 4 peuvent être classées en deux grandes catégories de travaux : un travail effectué sur les digues, qu'il s'agisse d'opérer une dépoldérisation (ouverture ou arasement de la digue de mer et reconstruction d'une digue de second rang) ou d'améliorer la qualité écologique des digues d'une part ; un travail de rechargement des dunes et des cordons littoraux d'autre part. Les paragraphes suivants reprennent les coûts engagés dans les différents projets réalisés ces dernières années dans les trois pays.

1. le coût des revêtements de digue et de la dépoldérisation

Comme cela a été détaillé dans le chapitre 4, les Pays-Bas, depuis le milieu des années 2000, réfléchissent à de nouvelles solutions permettant d'optimiser la qualité écologique des digues en place. Les digues enherbées offrent une verdure qui s'intègre mieux dans le paysage que les digues de béton par exemple, mais ces pelouses ne permettent pas le développement d'une réelle biodiversité. Les nouvelles « digues vertes » peuvent, dans certaines conditions, pallier ce manque et ainsi justifier un éventuel surcoût.

³⁵ Selon entretiens réalisés auprès d'ingénieurs de l'Environment Agency en 2011.

a. Combien coûtent les digues « vertes » ?

Le tableau 24 compare les coûts des revêtements anciens, parfois encore utilisés pour la restauration de digues, aux coûts des revêtements « modernes ». A ceci s'ajoute les surcoûts des revêtements optimisant la qualité écologique des digues.







Photo	Nature de revêtement	Utilisation	Prix... (€/m ²)	... qui comprend
	basalte	réparation uniquement	80	pierre + taille + géotextile + pose
	granite	réparation uniquement	80	pierre + taille + géotextile + pose
	colonne de béton classique	courante	60	colonne (40 cm) + géotextile + pose
	colonne de béton remodelée	expérimentation	70	colonne (40 cm) + moule + géotextile + pose
	bloc d'éco-béton	expérimentation	4	uniquement le bloc
	élastocoast	expérimentation	24	pierre + colle + pose

Tableau 24 : comparaison des coûts de revêtements. Sources : entretiens, 2010, 2011 et 2013. (Les photos ont déjà été utilisées et numérotées dans le chapitre 4. Elles font figure de rappel ici)

Le basalte comme le granite, qui ne sont plus utilisés que pour effectuer des réparations de digues, s'avèrent être aujourd'hui plus chers (environ 25 % de plus) que les colonnes de béton beaucoup plus largement répandues. Ceci s'explique par une utilisation de plus en plus rare de ces matériaux qui nécessitent un savoir-faire de taille de la pierre qui se perd.

Un surcoût d'environ 10 €/m² existe entre les colonnes de béton classiques et remodelées (permettant une meilleure colonisation par les micro-algues). À l'avenir cette différence devrait s'amenuiser grâce aux économies d'échelles permises par la généralisation d'utilisation des colonnes de seconde génération. De même, la possibilité de produire ces nouveaux blocs à partir d'une impression 3D s'avérera à court terme moins onéreuse que la production préalable de moules comme c'est le cas aujourd'hui. Cette solution semble donc avoir un avenir prometteur.

Le prix indiqué pour les blocs d'éco-béton (4 €/m²) ne comprend que le bloc lui-même. Cette option se présente donc comme un réel surcoût car elle ne répond qu'à un objectif écologique. Le bloc d'éco-béton vient donc s'ajouter à la digue existante dont les caractéristiques doivent répondre aux normes des standards néerlandais de sécurité.

Enfin l'élastocoast fait figure de bon élève³⁶. Sa facilité et sa rapidité d'utilisation en font un revêtement particulièrement peu coûteux, de l'ordre de 24 €/m². À cette qualité s'ajoute l'avantage de combinaison d'un objectif sécuritaire (capacité de résistance) et d'un objectif écologique (colonisation par le schorre des pentes externes de la digue). Bien que les résultats écologiques ne donnent actuellement pas entière satisfaction et que des améliorations ou ajustements soient en cours (cf. ch. 4, II.B), ce revêtement offre une alternative intéressante économiquement.

b. La forte variation des coûts de dépoldérisation

Le graphique suivant positionne certains sites dépoldérisés au cours des années 2000 en fonction de l'année d'exécution des travaux et du coût à l'hectare des projets.

La moyenne anglaise (pays le plus représenté dans ce graphique, mais aussi le plus expérimenté dans ce domaine) affiche un coût de dépoldérisation d'environ 36 000 €/ha. Mais cette moyenne cache de fortes inégalités, tant pour l'Angleterre seule, que pour les trois pays confondus. Les coûts de dépoldérisation sont en effet extrêmement variables, allant de 7100 €/ha à 1,6 M€/ha ! Cette différence s'explique de plusieurs façons. Trois techniques de dépoldérisation permettent de réguler de façon plus ou moins contrôlée l'entrée d'eau de mer dans le site : 1/ conservation de la digue de mer et insertion d'un ouvrage hydraulique de régulation des niveaux d'entrée et de sortie ; 2/ ouverture d'une ou plusieurs brèches dans la digue de mer ; 3/ démantèlement de tout ou partie de la digue. Ces options sont autant de facteurs de variation de coût. La figure 38 indique le coût de quelques dépoldérisations effectuées ou décidées. Ce coût est exprimé en €/ha et rapporté à la surface dépoldérisée. Outre l'importance de la surface dépoldérisée, le nombre de brèches créées fait également varier le coût à l'hectare. Par exemple, la différence de prix à l'hectare des dépoldérisations effectuées à Alkborough et à Wallasea (premier projet) s'explique principalement par le nombre de brèches formées : 1 brèche de 20 m à Alkborough pour une surface dépoldérisée de près de 400 ha et un coût de 32 000 €/ha contre 5 brèches de 100 m chacune à Wallasea, pour une surface dépoldérisée d'une centaine d'hectares et un coût de 87 000 €/ha. De même, la création d'un seuil au pied de la brèche pour contrôler les entrées et sorties d'eau est une option qui peut se révéler coûteuse.

³⁶ Aux Pays-Bas en particulier, car les ingénieurs français rencontrés trouvent cette solution très coûteuse par rapport aux digues en terre.

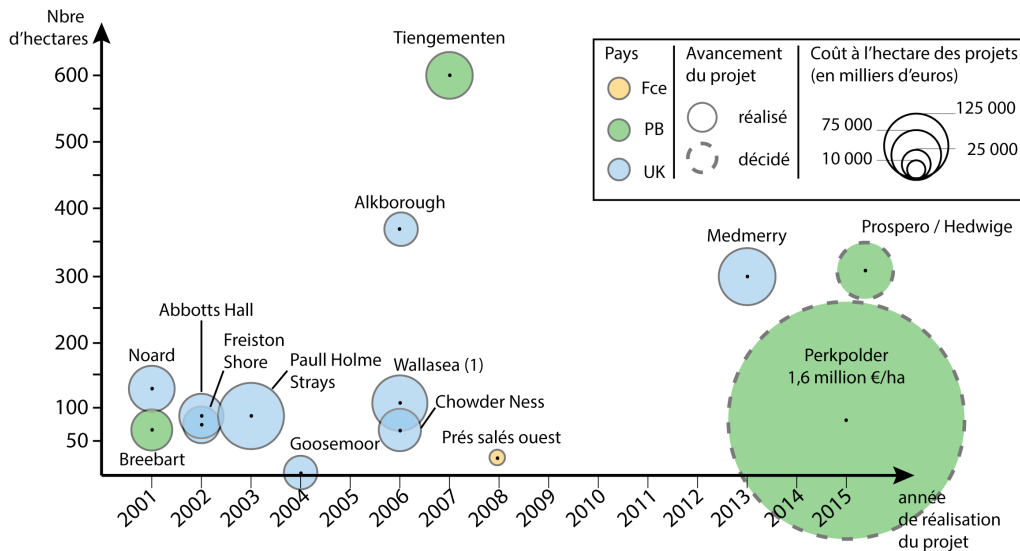


Figure 38 : comparaison du coût à l'hectare de la gestion par dépollérisation.

Sources : Verger, 2014 ; Goeldner-Gianella, 2013, ABPmer, 2010 (document interne), entretiens.

Réalisation S. Gueben-Venière, 2014.

Le programme BARCASUB, dont le rapport final a été publié en 2013, s'est intéressé aux avantages et inconvénients de la dépollérisation dans le bassin d'Arcachon³⁷. Ont été analysés, entre autres facteurs, les coûts et bénéfices engendrés par la possibilité de dépollériser certains secteurs du bassin. Il ressort de cette étude que les coûts d'une dépollérisation par brèche peuvent aller du simple au triple si la brèche est stabilisée par un seuil en pierres : il faut en effet compter entre 5 et 10 000 € HT par brèche creusée plus 10 000 à 20 000 € pour réaliser le seuil empierré (Goeldner-Gianella *et al.*, 2013). Mais une dépollérisation partielle impliquant l'insertion d'un ouvrage hydraulique dans la digue de mer peut être encore plus coûteuse lorsqu'il s'agit par exemple de modifier la hauteur du seuil des écluses existantes : la même étude indique en effet un coût d'environ 30 000 € HT par écluse, sans compter un entretien régulier nécessaire.

Enfin, quel que soit le mode de dépollérisation envisagé, les coûts secondaires liés à la construction d'une digue arrière sont également importants. Ils peuvent fortement varier selon que la digue arrière est entièrement à construire ou simplement à rehausser ou conforter. La hauteur de la cote à atteindre peut également faire varier le prix. De même plus longue sera la digue arrière, plus forts seront les coûts. L'étude de faisabilité de dépollérisation à Sainte-Marie-du-Mont, dans la baie des Veys³⁸ (cf. fiche 10, partie 4), indique par exemple que la

³⁷ Goeldner-Gianella L. et Bertrand F., juillet 2013, « BARCASUB : La SUBmersion marine et ses impacts environnementaux et sociaux dans le Bassin d'ARCAchon (France) : est-il possible, acceptable et avantageux de gérer ce risque par la dépollérisation ? », rapport final 198 p. et rapport de synthèse 17 p.

³⁸ Étude commandée par le Conservatoire du littoral, « Dépollérisation du polder de Sainte-Marie-du-Mont, étude de faisabilité », rapport de phase 2 : évaluation et comparaison des scénarios, novembre 2013, 203 p.

part du coût de rehaussement de la digue de second rang s'élève à 76 % du prix total d'un scénario de dépoldérisation par brèches.

Mais ces simples options ne peuvent justifier à elles seules le coût moyen par hectare, estimé pour le Perkpolder en Zélande : 1,6 millions d'euros par hectare ! Ce projet affiche de nombreux objectifs : un objectif environnemental classique (compensation écologique du creusement de l'Escaut occidental), mais aussi des objectifs socio-économiques visant à redynamiser une région touchée par le chômage depuis l'ouverture en 2003 du tunnel reliant les deux rives du fleuve et la fermeture consécutive du terminal de ferry en 2004. Ainsi le coût estimé comprend de nombreux équipements : arasement d'une large portion de digue, création d'un large seuil, rehaussement de terres pour former un « bastion » accueillant de nouvelles habitations, création d'une nouvelle marina et installation d'hôtels à haute qualité environnementale. Il est donc difficile de comparer le coût d'un entretien classique des digues au coût d'un projet complexe de dépoldérisation comprenant plusieurs objectifs. Cependant, malgré les difficultés que cela suppose, la discussion entre ingénieurs et autres spécialistes ne peut qu'améliorer cette analyse coûts / bénéfices et réduire les inconnues.

2. Le coût des rechargements en sable

Le coût des rechargements en sable est assez difficile à évaluer de façon générale car cela dépend de nombreux facteurs propres aux sites. La provenance plus ou moins lointaine des matériaux, leur qualité (sable plus ou moins fin et galets plus ou moins calibrés) et enfin la quantité requise (une grosse quantité permettant de faire des économies d'échelle) sont autant de facteurs contribuant à la variation des coûts. Le tableau suivant rassemble quelques exemples de rechargement effectués ces dernières années.

Pays	Site	objectif	Nature du matériau	Année	Vol. (m ³)	Coût	
						Total (millions €)	Coût/m ³ (€)
Fce	Plage de La Baule ³⁹	tourisme	sable	2004	210 000	4,7	22,3
Fce	Plage de Châtelailon ⁴⁰	défensif	sable	1991	330 000	3,8	11,5
				1999	110 000	1,1	10
Fce	Digue des Alliés ⁴¹	défensif	sable	2014	1 200 000	4,2	3,5
Fce	Bas-Champs ⁴²	défensif	galet	2012-14	450 000	7,5	16,7
NL	Kijkduin ⁴³	défensif	sable	2013	22 000 000	70	3,18
UK	Medmerry ⁴⁴	défensif	galet	tous les ans	7700	0,24	31,4

Tableau 25 : comparaison du coût de différents projets de rechargement en sable et en galets.
Sources : voir notes de bas de page.

Le coût moyen par mètre cube des cas exposés dans le tableau est de 14 €. Cette moyenne cache cependant de fortes variations : selon les facteurs précités, le prix par mètre cube de sable ou galets peut varier du simple au triple : 3,18 € à Kijkduin aux Pays-Bas pour le projet ZandMotor (cf. ch. 4) et 31,4 € à Medmerry. Avant la dépoldérisation effectuée à

³⁹ Source : Les Echos en ligne, n°19068, 08/01/04

⁴⁰ Source : EUCC, Atelier des 31 mars et 1^{er} avril 2004, Paskoff R., Prat M. C., « Le réensablement de la plage de Châtelailon »

⁴¹ Source : Conseil Général du Pas-de-Calais

⁴² Source : Artélia, document interne 2013.

⁴³ Source : entretiens

⁴⁴ Source : entretiens

Medmerry en 2013, les travaux de maintenance du cordon de galets nécessitaient un apport annuel moyen de plus de 7700 m³ de galets. Le prix moyen d'un mètre cube de galets étant de £ 26, ces travaux coûtaient environ £ 200 000 par an. Si l'on rapporte cette somme à l'échéance d'une centaine d'années, la protection de Medmerry par rechargement aurait coûté environ £ 20 millions. Ce coût semble *a priori* inférieur aux £ 28 millions qui ont été finalement nécessaires pour mettre en œuvre la dépoldérisation. Mais le budget consacré à l'opération de *managed realignment* comprend £ 20 millions de travaux à visée défensive et £ 8 millions de récréation de prés salés. La solution de rechargement présentait donc un coût équivalent mais ne répondait pas à l'ensemble des objectifs définis. Du point de vue de la sécurité, le cordon rechargé a quand même été submergé à maintes reprises lors de tempêtes hivernales, et du point de vue environnemental le maintien du trait de côte empêchait la récréation d'habitats marins et saumâtres et ne remplissait donc pas les engagements européens en matière d'environnement.

L'analyse coûts/bénéfices mise en œuvre depuis une vingtaine d'années en Angleterre puis aux Pays-Bas et en France et sans cesse améliorée au fil des expériences, constitue une évolution intéressante dans la façon de justifier le choix des solutions de protection côtière. Elle doit servir dès le début un projet de gestion pour être employée comme un outil performant d'aide à la décision. Ce bref aperçu met en exergue la complexité de la méthode : il ne s'agit plus de chiffrer le coût de construction d'une digue - ce dont les ingénieurs se chargeaient seuls auparavant - mais d'intégrer dans ce calcul un nombre importants de facteurs techniques, sociaux et environnementaux. Cette complexité de calcul a nécessité le recours à d'autres disciplines dont des environnementalistes. Par conséquent, on peut se demander comment les ingénieurs interviennent désormais dans ce processus d'évaluation des coûts et bénéfices.

C. Comment les ingénieurs participent-ils à l'évaluation des coûts et bénéfices des solutions envisagées ?
--

De façon générale, les ingénieurs interviennent à deux niveaux dans les projets de gestion côtière. Le premier concerne les devis techniques chiffrant le coût des travaux à réaliser. Ils sont établis par les ingénieurs travaillant en bureaux d'étude et répondant aux appels d'offres. Une fois les devis validés, le maître d'ouvrage doit veiller à la bonne réalisation des travaux et à leurs qualités techniques. Or bien souvent, selon l'importance des sites, c'est un ingénieur qui a la charge de ce contrôle car il est le plus à même de vérifier la concordance entre la qualité des travaux réalisés et leur facturation. Ainsi les ingénieurs interviennent dans l'évaluation des coûts directs de gestion côtière. Mais ils peuvent aussi intervenir plus en amont.

Le travail actuel des ingénieurs et géomorphologues néerlandais chez Deltares consiste par exemple à déterminer avec une plus grande précision la profondeur réelle de fermeture du littoral. Il est admis aux Pays-Bas que cette profondeur correspond à -20 m, et c'est d'ailleurs

la référence qui est utilisée pour tous les programmes de rechargement en sable. Il est donc obligatoire d'aller prélever le matériau nécessaire au-delà de cette profondeur. Or l'intérêt d'une étude plus poussée sur la limite réelle de la profondeur de fermeture réside justement dans la possibilité de diminuer les coûts induits. En effet, s'il s'avère que cette limite se trouve finalement plus près des côtes à – 15 m par exemple, il deviendra moins coûteux d'aller chercher les sédiments dragués car la distance à la côte aura été réduite. L'institut Deltares devrait ainsi produire un rapport final sur la question pour les côtes néerlandaises en 2015⁴⁵.

Par ailleurs, l'amélioration des techniques de dragage et de dépôt des sédiments dragués peut aussi permettre une meilleure réutilisation *in situ* de ces sédiments. Ainsi des économies peuvent être réalisées en déduisant des volumes à redéposer, ceux qui peuvent être réutilisés sur place. Inversement, le coût du transport des matériaux dragués vers le large peut aussi être fortement réduit.

Enfin, l'amélioration de la modélisation numérique ou physique sur le comportement dynamique du littoral constitue peut être la plus grande source d'économies potentielles. Plus les modèles seront précis, plus ils permettront de connaître au plus juste les volumes nécessaires au rechargement des cordons et plages en fonction de l'échelle de temps. De même, les progrès faits en modélisation permettront d'affiner le dimensionnement des ouvrages : le dimensionnement des brèches à percer dans les digues et des seuils souvent nécessaires en cas de dépoldérisation sera d'autant mieux ajusté aux volumes d'eau entrants et sortants.

Conclusion du chapitre 8

La façon dont un pays réagit face aux tempêtes marquantes nourrit les représentations qu'ingénieurs et autres acteurs se font du littoral et de sa gestion. Le ton donné aux stratégies nationales peut aider à convaincre de la nécessité d'élargir sa vision du littoral et d'explorer l'ensemble des champs possibles de gestion. En effet, le coût des solutions innovantes de gestion, bien que très variable et difficile à comparer avec les modes traditionnels de gestion, s'avère parfois considérable et peut expliquer certains freins. Pourtant, le coût du projet *Sand Engine* sur la côte de Hollande méridionale n'a pas empêché sa réalisation car il a été soutenu, malgré les incertitudes sur le temps de dispersion du sable déposé, par une politique nationale favorisant l'innovation et développant une vision à long terme permettant aussi d'envisager un retour sur investissement.

⁴⁵ source : entretiens réalisés auprès d'ingénieurs et de géomorphologues de Deltares en 2010.

Conclusion de la troisième partie

La frise chronologique suivante (Fig. 39) indique les dates clés décrites dans les trois derniers chapitres. Elle met en regard les événements majeurs ayant contribué à faire évoluer les représentations et les pratiques des ingénieurs, et les grandes évolutions de leur formation.

De façon générale, on observe une évolution parallèle avec seulement quelques années de décalage entre évolution de la société et évolution de la formation des ingénieurs. L'écart observé dans les années 1960 et 1970 se réduit progressivement pour les décennies suivantes et montre, globalement une adaptation assez rapide des formations d'ingénieurs. Par exemple, la première loi sur l'eau française date de 1964 et dix ans ont été nécessaires à l'ENPC pour proposer des enseignements spécialisés sur l'eau. De même ce n'est que six ans après le tournant écologique et social néerlandais, symbolisé par l'adoption en 1973 d'un barrage amovible pour fermer l'estuaire de l'Escaut oriental, que la TUDelft a proposé une section philosophie et sciences sociales visant à ouvrir la réflexion des ingénieurs sur l'intégration de leur travail dans la réalité sociale.

Les années 1980 ont ensuite été particulièrement riches et de nombreuses lois de protection de l'environnement et plans de prévention ont été adoptés. Cette décennie a néanmoins été celle de l'écologie plus que de l'environnement et les cours dispensés en la matière, malgré des intitulés prometteurs tels « Gestion intégrée des milieux naturels à l'ENPC, abordaient toujours les questions de pollution de façon sectorielle.

Ce n'est véritablement que dans les années 1990 que l'élargissement du champ de réflexion et l'approche des questions environnementales par le milieu ont pris place dans les formations d'ingénieurs. Ceci s'est effectué en parallèle d'une évolution des attentes européennes sur l'orientation pluridisciplinaire à donner aux programmes de recherche (MAST 1 et 3). Toutefois, un cas de figure semble faire exception en Angleterre. L'ouverture des colloques de l'ICE (*Institution of Civil Engineers*) aux géomorphologues dès le début des années 1980 semble avoir été déterminante dans la précocité avec laquelle l'Angleterre a adopté les *Shoreline Management Plans* comparables aux stratégies définies en 2008 aux Pays-Bas et en 2012 en France. Ainsi, dans ce cas, la collaboration entre géomorphologues et ingénieurs, initiée par les ingénieurs eux-mêmes, a permis de repenser intégralement, quelques années après, la politique de gestion côtière du pays.

Enfin, les années 2000 et 2010 ont marqué une double évolution des enseignements. D'une part le contenu des cours a pour la première fois abordé la question des risques littoraux et la nécessité de mettre en œuvre une gestion intégrée des côtes, et d'autre part, des cours en communication destinés à développer les capacités de concertation et d'animation de débats publics des ingénieurs, se sont réellement mis en place. Cette dernière évolution des enseignements répond à l'inscription du principe de participation dans le système juridique français avec l'adoption en 1995 de la Loi Barnier sur le débat public : « *un débat public peut être organisé sur les objectifs et les caractéristiques principales des projets pendant la phase de leur élaboration*⁴⁶ ». Il s'agit d'une différence majeure avec la Loi Bouchardeau de

⁴⁶ Art. 2 du chapitre 1^{er} : De la consultation du public et des associations en amont des décisions d'aménagement, site Legifrance : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000551804&dateTexte>

1983 dont l'enquête publique, visant à informer le public, avait lieu après l'élaboration du projet. Les premiers cours de communication sur la façon de mener à bien concertation et débat public sont apparus, avec quelques années de décalage par rapport à la Loi Barnier, en 2000 à l'ENTPE et en 2009 à l'ENPC.

Ainsi l'évolution des formations d'ingénieurs montre que ces derniers ont suivi la progression des directives, lois et plans de gestion vers une intégration croissante des questions environnementales. Toutefois cette adaptation ne s'est pas faite sans bouleverser voire heurter une profession tout entière et remettre profondément en question les méthodes et les modes de pensée des ingénieurs. Pour être en mesure d'affirmer que ces derniers ont su dépasser cette crise socio-écologique, il est nécessaire d'approfondir la question pour savoir dans quelle mesure ils se sont appropriés cette évolution et si de nouvelles perspectives se dessinent pour ce groupe professionnel.

Figure 39 : Frise chronologique des dates clés de l'évolution de la législation et de la formation des ingénieurs. *Sources : mentionnées dans les chapitres 6, 7 et 8.*

Principaux événements

1er modèle physique au laboratoire de Delft : 1927

création Laboratoire National d'Hydraulique : 1947

Coast Protection Act : 1949

1950

tempête de 1953

publication *Morphologie littorale et sous-marine* de A. Guilcher : 1954

Plan Delta 1 : 1955

1954 : création de l'ENTPE

1960

principe de Bruun sur évolution profil transversal des plages

publication de *Printemps Silencieux* de R. Carson : 1962

loi sur l'eau : 1964

1970

programme « Man & Biosphère » de l'UNESCO
loi sur la pollution des eaux de surface adoption de standards de pollution

création Ministère Environnement : 1971

1er Sommet de la Terre (Stockholm) : 1972

adoption d'un barrage amovible amovible à l'embouchure de l'Escaut oriental : 1973

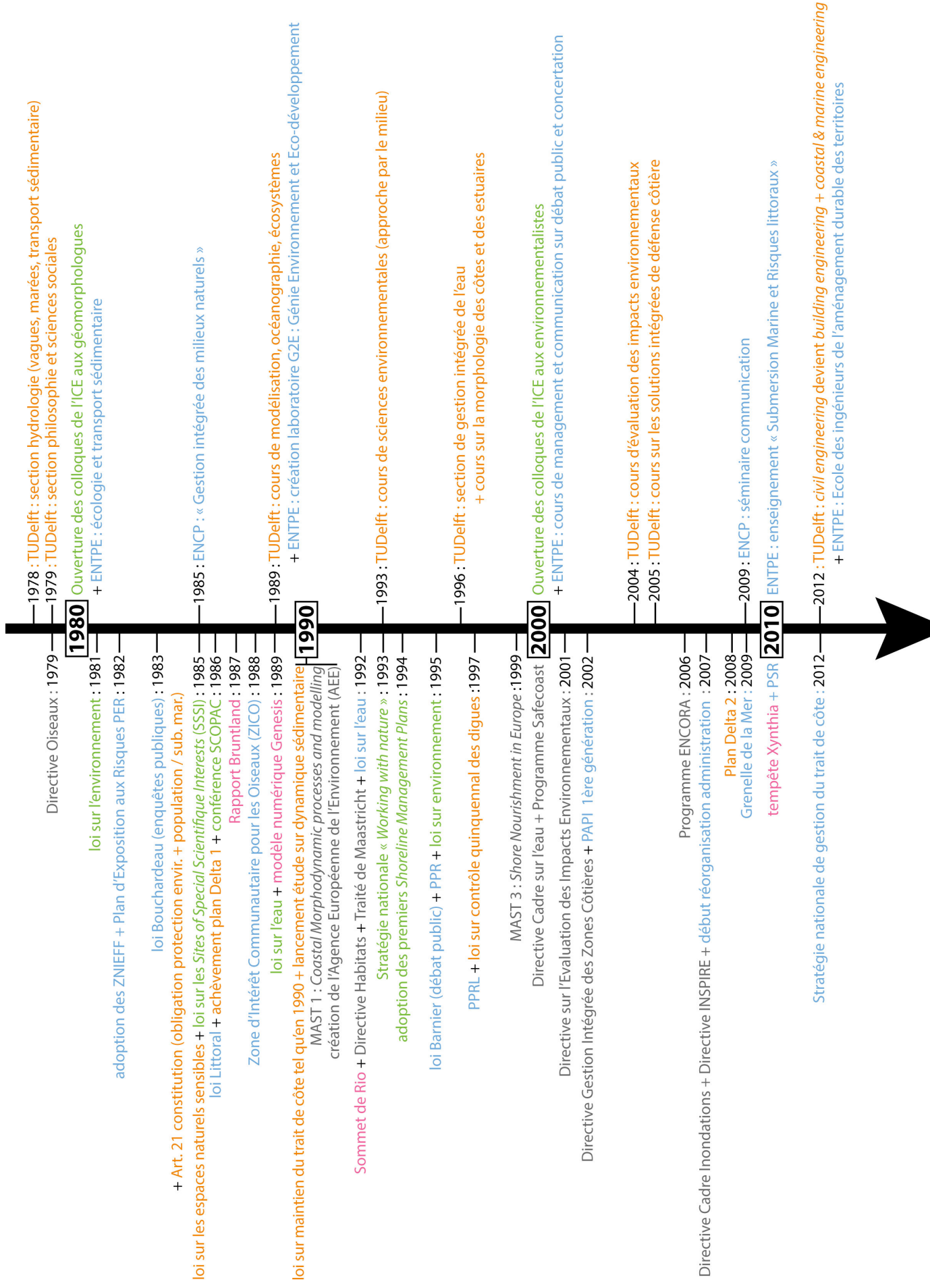
création du Conservatoire du littoral : 1975

Wageningen : début d'un large développement d'enseignement en environnement

1974 : ENCP : 1er enseignement spécialisé « Environnement - Eau - Atmosphère »

Principales évolutions dans la formation des ingénieurs

concerne les Pays-Bas
concerne l'Angleterre
concerne la France
concerne l'Europe
événement général



QUATRIEME PARTIE

Nouvelles perspectives pour les ingénieurs

Les différents éléments apportés dans la troisième partie pour expliquer l'origine des pratiques observées sur le terrain ont montré l'importance de trois facteurs majeurs : la naissance d'un mouvement écologique et social au tournant des années 1970, l'amélioration des connaissances scientifiques sur le littoral et des échanges entre scientifiques et ingénieurs et enfin le poids des réalités culturelles et économiques. L'ensemble de ces facteurs a produit une nouvelle façon de penser et de mettre en œuvre une gestion du littoral désormais qualifiée de gestion intégrée, c'est-à-dire intégrant dans les solutions proposées plusieurs enjeux (sécuritaires, économiques et écologiques) en lien avec le milieu littoral dans lequel ils s'opèrent. Cette nouvelle démarche s'est traduite par un renouvellement des objectifs de gestion et de la façon d'organiser les étapes de mise en œuvre d'un projet. De même, ceci a provoqué des bouleversements professionnels pour les ingénieurs : des postes clés, historiquement réservés aux ingénieurs se sont progressivement ouverts aux autres scientifiques ; parallèlement un génie écologique est en train de s'étoffer et vient compléter le panel de compétences des ingénieurs formés classiquement en génie civil.

L'une des conséquences majeures du courant vert qui a conquis l'Europe du nord-ouest, au tournant des années 1970, a consisté en la professionnalisation des acteurs de ce mouvement (naissance des écologues) et en la multiplication des métiers liés à l'environnement. Celle-ci s'est traduite par un double phénomène : d'une part la diversification des structures désormais impliquées dans la gestion du littoral et d'autre part le recrutement de biologistes, d'écologues, de géographes ou encore de juristes au sein même de structures auparavant assimilées à d'imprenables forteresses de l'ingénierie du génie civil. Cette observation pose la question du positionnement des ingénieurs : ont-ils trouvé leur place dans la concertation pluridisciplinaire ? Se sont-ils nourris de la diversité croissante des structures désormais impliquées dans la gestion du littoral ? Finalement, où les retrouve-t-on dans l'organigramme d'un projet ? Afin d'illustrer cette double évolution, ce chapitre s'appuie sur deux cas d'études : l'estuaire de l'Escaut occidental aux Pays-Bas et le polder de Sainte-Marie-du-Mont dans la baie des Veys. Par ailleurs sera analysé, entre autres, le parcours d'un homme, Henk Saeijs, biologiste de formation et environnementaliste, symbole fort de la professionnalisation du mouvement vert aux Pays-Bas et de l'ouverture de postes clé de gestion à des non ingénieurs.

I. Trouver sa place, en tant qu'ingénieur, dans la concertation

A. De la contestation à la concertation : le cas de l'estuaire de l'Escaut occidental

1. Situation, enjeux présents et bref historique

Le fleuve de l'Escaut occidental, long de 355 km, s'étire sur trois pays : il prend sa source à Saint-Quentin en France, traverse la Belgique et vient mourir en mer du Nord zélandaise. L'estuaire du fleuve est composé du *Zeeschelde* (Escaut maritime ou partie belge de l'estuaire) et du *Westerschelde* (Escaut occidental ou partie néerlandaise du fleuve). Le *Zeeschelde* est constitué d'un chenal unique, totalement endigué de Gand jusqu'à Anvers. Le *Westerschelde* comprend en revanche plusieurs chenaux de flot et de jusant disposés en tresse et séparés par de nombreux bancs de sable. La profondeur moyenne du chenal principal est comprise entre 15 et 20 m et parsemée de quelques fosses d'environ 40 m de profondeur (Coosen, 2006).

Fiche 9 : 'Escaut occidental Pour un Escaut dynamique et "vert"



L'estuaire		un pôle économique aménagé et protégé	
Westerschelde	Zeeschelde	chenal de navigation	zone industrielle	zone urbaine	digue principale	directive Oiseaux	directive Habitats
partie occidentale néerlandaise	partie maritime belge	campings, hôtels	digue secondaire	dune entretenue	directive Oiseaux et Habitats		
5,3 m	amplitude de marée						
	schorre						
	banc de sable						
	frontière						

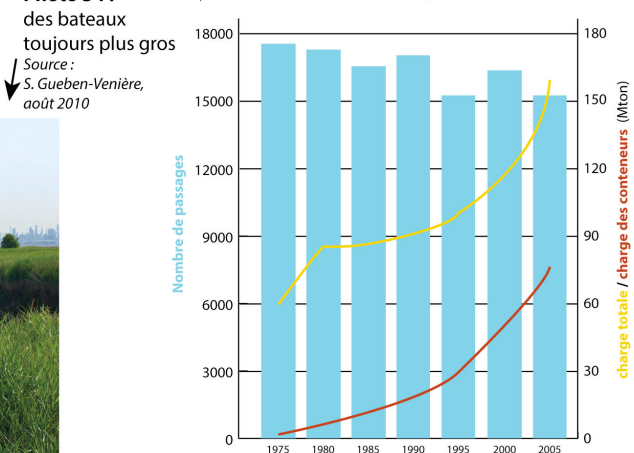
Carte 31 : état des lieux et enjeux de l'Escaut occidental. Sources : J. Vroon et al., 1994 ; H. Verbeek, 2009 ; Atlas van de Zuidwestelijke Delta, 2009 ; entretiens 2010 et 2011. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013.



↑ **Photo 52** : vue panoramique du schorre de Saeftinghe. Source : S. Gueben-Venière, juillet 2010

← **Photo 53** : vue détaillée de la profondeur des chenaux naturels de Saeftinghe. Source : Atlas v. d. Zuidwestelijke Delta, 2009

↓ **Figure 40** : évolution des besoins portuaires à Anvers. Source : H. Verbeek, 2009



L'ensemble constitue le dernier estuaire libre du delta zélandais et abrite, entre autres, de nombreux oiseaux (jusqu'à 230 000 individus pendant les périodes de migration) et poissons. L'estuaire relève du réseau Natura 2000 et est protégé à ce titre par les directives européennes Oiseaux et Habitats ainsi que par la convention Ramsar. À l'échelle internationale, en effet, cette région constitue une zone de migration, d'hivernage et de fourrage de première importance pour 21 espèces d'oiseaux d'eau. Par ailleurs, le *Westerschelde* sert de zone de « nurserie » aux jeunes soles, bars ou harengs. Le pays de Saeftinghe, situé sur la rive sud à l'amont de l'estuaire (carte 31), joue un rôle important dans cette richesse écologique car il représente le plus grand schorre d'eau saumâtre d'Europe de l'ouest (Coosen *et al.*, 2006) (Photos 52 et 53). Ce territoire entre terre et mer d'une superficie de plus de 3500 ha reste le dernier témoin des paysages que l'estuaire pouvait offrir au Moyen-Âge puisque les violentes inondations de 1570 ont submergé les polders pour laisser place à un large schorre (Figure 41 e) (Verger, 2014). Ailleurs en effet, l'estuaire de l'Escaut occidental a fait l'objet de nombreuses modifications de tracés de ses chenaux et de ses rives, progressivement endiguées pour cumuler aujourd'hui une longueur de plus de 700 km de digues (Nienhuis, 2008). Au fil des siècles, le tracé des rives de l'estuaire n'a cessé d'évoluer pour que le port d'Anvers gagne en compétitivité¹ sans négliger le besoin croissant de surfaces agricoles. La figure 41 montre l'évolution du delta zélandais et des terres alternativement perdues puis conquises. Les îles du delta ont été progressivement réunies par poldérisation continue depuis le XVI^e siècle. Depuis les années 1940, la géométrie de l'estuaire est proche de ce que l'on peut observer aujourd'hui. Le tracé des rives de l'estuaire a néanmoins été progressivement fixé par des digues de plus en plus hautes et de plus en plus larges (Figure 41 h).

La situation géographique particulière de l'estuaire en a toujours fait un lieu de fortes concentrations et de convoitises engendrant de nombreux conflits. Cette région d'Europe a en effet subi les pressions et annexions successives des Bourguignons (du XIV^e au XVI^e siècle), puis des Espagnols (du milieu du XVI^e siècle au début du XVIII^e siècle) avant de se constituer en République des Provinces Unies (de Voogd, 2003). En 1810, les Pays-Bas ont de nouveau été annexés par la France. Vingt ans plus tard, la Belgique a proclamé son indépendance en s'appropriant le port d'Anvers et en jetant une nouvelle fois un climat hostile sur l'Escaut occidental (Verger, 2014). Ces tourments politiques ont eu pour conséquence directe des périodes alternativement stables et mouvementées, et ce n'est qu'en 1863 que l'Acte de Vienne entériné a rendu possible une libre circulation des navires jusqu'au port d'Anvers (ProSes, 2008). Mais dès le début du XX^e siècle l'importance croissante des enjeux économiques portuaires a marqué le début d'une nouvelle ère d'aménagement de l'estuaire.

¹ Le trafic du port d'Anvers est passé de 60,5 millions de tonnes en 1975 à 160,1 en 2005 (Merckelbagh, 2009)



Figure 41 a-i : évolution géomorphologique du delta zélandais ainsi que des endiguements successifs des rives de l'Escaut occidental.

Source : *Atlas van de Zuidwestelijke Delta*, 2009.

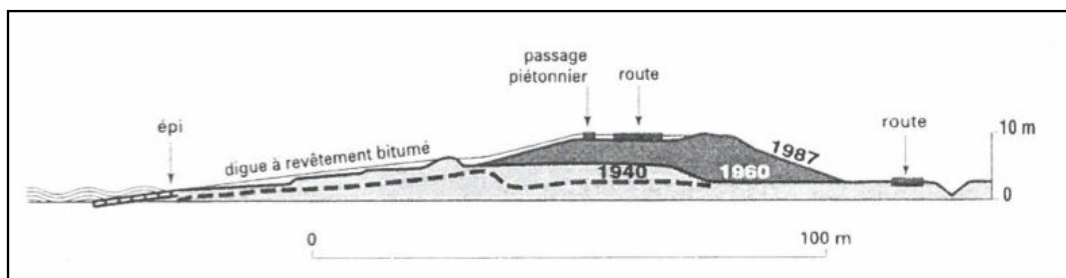


Figure 42 : évolution du profil des digues bordant l'Escaut occidental.

Source : *E. Bird*, 1993.

2. Le tournant du XX^e siècle ou l'amorce d'une nouvelle ère d'aménagement

Les premiers travaux de dragage marquent, au tournant du XX^e siècle, le début d'une nouvelle ère d'aménagement de l'estuaire. Pour développer son activité, le port d'Anvers a besoin d'augmenter sa capacité d'accueil. Des travaux d'agrandissement du port lui-même et d'approfondissement des chenaux de navigation deviennent alors inévitables. Si les premiers relèvent de la seule autorité belge, les travaux de dragage doivent être effectués en pays néerlandais pour servir le développement économique flamand. Cette complexité a conduit les

Pays-Bas à réglementer les dragages par une demande de permission rendue obligatoire et systématique dès 1906 (Peeters *et al.*, 2007). En 1948, les deux royaumes se dotent du *Technical Scheldt Committee* (TSC) afin d'entretenir une bonne entente politique et de développer l'économie générée par l'estuaire en menant à bien les creusements et recreusements nécessaires des chenaux. Des questions de sécurité se sont également posées à la suite de la tempête de 1953 particulièrement grave en Zélande et des sévères inondations de 1976 ayant touché le nord de la Belgique. Ainsi les plans Delta pour les Pays-Bas et Sigma pour la Belgique ont prôné le renforcement et le rehaussement de l'ensemble des digues du fleuve ce qui a contribué, d'une part, à accentuer la séparation entre milieux terrestre et marin, et d'autre part à augmenter l'amplitude de la marée en renforçant l'effet de goulet d'étranglement de l'estuaire (+ 2 m à Anvers, soit une multiplication par 2 depuis 1650 (Vroon *et al.*, 1998)). La modification de l'estuaire a donc été profonde puisque c'est non seulement l'intégralité de la structure du bassin qui a été modifiée (16% de zones interdites ont disparu au cours du XX^e siècle au profit du développement industriel, agricole et urbain (Coosen, 2006)), mais aussi la qualité globale des eaux qui a d'ailleurs valu au fleuve le surnom « d'égout à ciel ouvert »².

Les différents aménagements réalisés au cours du XX^e siècle ont donc modelé un estuaire de plus en plus vulnérable écologiquement et créé un contexte de plus en plus conflictuel. Les différents organismes de recherche ou associations environnementales qui se sont progressivement multipliés pour faire entendre leur point de vue, agissaient de façon indépendante et en opposition au mode de gestion qui était proposé jusque dans les années 1990. À la fin du XX^e siècle les enjeux écologiques étaient encore totalement absents des préoccupations des ingénieurs du *Technical Scheldt Committee*. Ce n'est qu'en 1995 que les deux pays ont reconnu l'incapacité du comité à résoudre l'ensemble des conflits d'usages de l'estuaire et à établir une gestion intégrant de nouveaux enjeux environnementaux. À partir de cette date, une transition importante s'est effectuée : celle de la contestation et du conflit à la concertation et la coopération. Les structures à vocation environnementale, créées tout au long du XX^e siècle, sont progressivement devenues partie prenante du débat aux côtés des ingénieurs et gestionnaires jusqu'alors seuls présents autour de la table pour décider de l'avenir de l'estuaire.

La figure suivante reprend la chronologie (non exhaustive) de création de l'ensemble de ces structures aujourd'hui directement impliquées dans le processus décisionnel, ainsi que les événements marquants tels que les grandes tempêtes, les accords signés entre les deux pays ou encore les directives européennes, de la seconde moitié du XIX^e siècle jusqu'à la fin du XX^e siècle.

² *Escaut sans frontières* n°59, novembre 2012

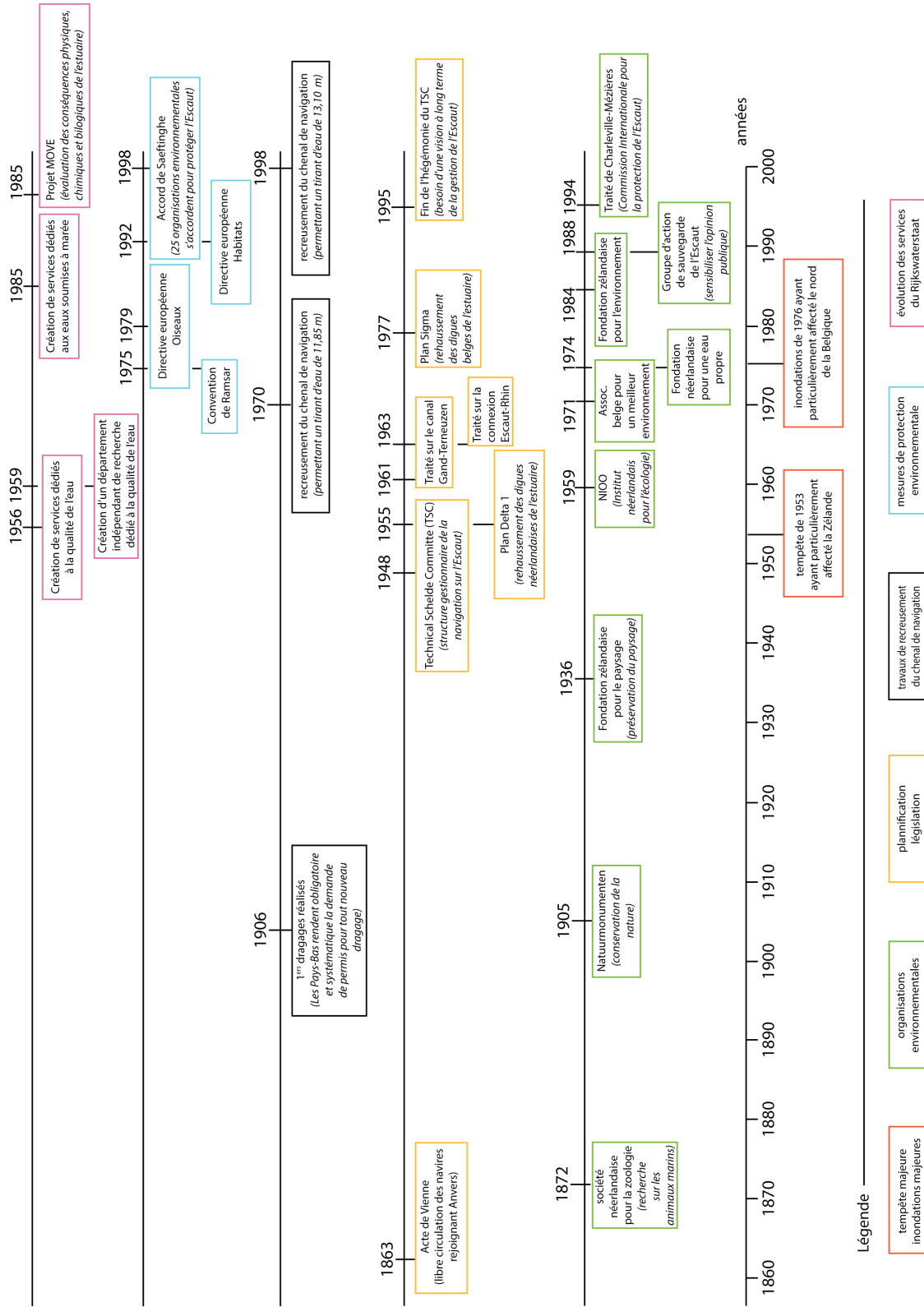


Figure 43 : Chronologie des événements ayant contribué directement ou indirectement à l'aménagement de l'Escaut occidental. Sources : Verger, 2014 ; Peeters et al., 2007 ; Coosen, 2006.

Certaines organisations à vocation environnementale sont anciennes telle *Natuurmonumenten* dont la création remonte à 1905, ou la Fondation zélandaise pour le paysage créée en 1936. Mais ces structures se sont véritablement multipliées dans les années 1970 et au-delà. Ce phénomène montre que les problèmes de pollution ou de conservation et de protection de la « nature » sont progressivement devenus un enjeu incontournable à prendre en compte dans la gestion de l'estuaire.

3. Un élargissement progressif des acteurs impliqués : les ingénieurs ne sont plus seuls pour décider de l'avenir de l'estuaire

À la fin des années 1990, les Pays-Bas et la Belgique s'accordent sur la nécessité de mettre en œuvre une gestion intégrée de l'Escaut occidental et pour ce faire de construire une vision commune de l'Escaut à long terme, c'est-à-dire au moins pour l'horizon 2030. C'est pour répondre à cette nouvelle stratégie qu'a été lancé le projet ProSes (*Schelde Estuary Development Project*), entériné par le *Memorandum de Vlissingen* en 2002. À partir de cette date, un triangle d'acteurs va se mettre en place comprenant trois grandes structures : le projet ProSes, le TSC (comité technique) et l'OAP (comité de concertation) des parties consultatives. Le schéma suivant reprend l'évolution de la gestion de l'Escaut occidental, du début du XX^e siècle jusqu'à aujourd'hui. Trois périodes *a*, *b* et *c* sont distinguées :

a. de 1906 jusqu'à la fin des années 1960 : domination des ingénieurs

À partir de 1906, une harmonie politique et technique s'instaure entre les deux pays : les Pays-Bas négocient les autorisations de creusement avec la Belgique qui a ratifié l'accord. Cette période est dominée par les ingénieurs et offre une vision exclusivement technique de la gestion de l'estuaire, renforcée depuis la mise en place du *Technical Scheldt Committee* en 1948.

b. de 1970 à 2002 : contestations et conflits liés à l'environnement

Les conflits ne sont plus politiques mais idéologiques : la montée en puissance des associations environnementales nourrit les contestations d'abord d'ordre écologique puis d'ordre environnemental. Des conflits d'intérêts naissent entre ingénieurs-techniciens et écologistes-environmentalistes.

c. à partir de 2002 : concertation et coopération entre ingénieurs et non ingénieurs

Les parties consultatives, regroupant l'ensemble des structures environnementales précitées, ont été intégrées au processus décisionnel. Le comité *ProSes* a en effet la charge de recueillir les exigences respectives de l'OAP et du TSC afin d'établir des objectifs partagés de gestion et de s'assurer de leur conformité avec les principales directives européennes entre autres. Les tensions entre ingénieurs et environnementalistes s'amenuisent donc, mais une autre forme de conflit naît. En effet, l'opinion publique, largement soutenue par les agriculteurs, voit d'un mauvais œil les mesures de compensation écologique recommandée et par conséquent la dépoldérisation et la perte de terres cultivables ou constructibles qu'elles supposent. L'exemple le plus médiatisé concerne le polder Hedwige situé sur la rive sud amont de l'estuaire, dont la dépoldérisation est en pourparler depuis de nombreuses années (Verger, 2014). L'effort principal de l'ensemble des acteurs de la gestion de l'Escaut se concentre aujourd'hui sur la communication à effectuer auprès des populations locales sur les avantages environnementaux offerts par la dépoldérisation.

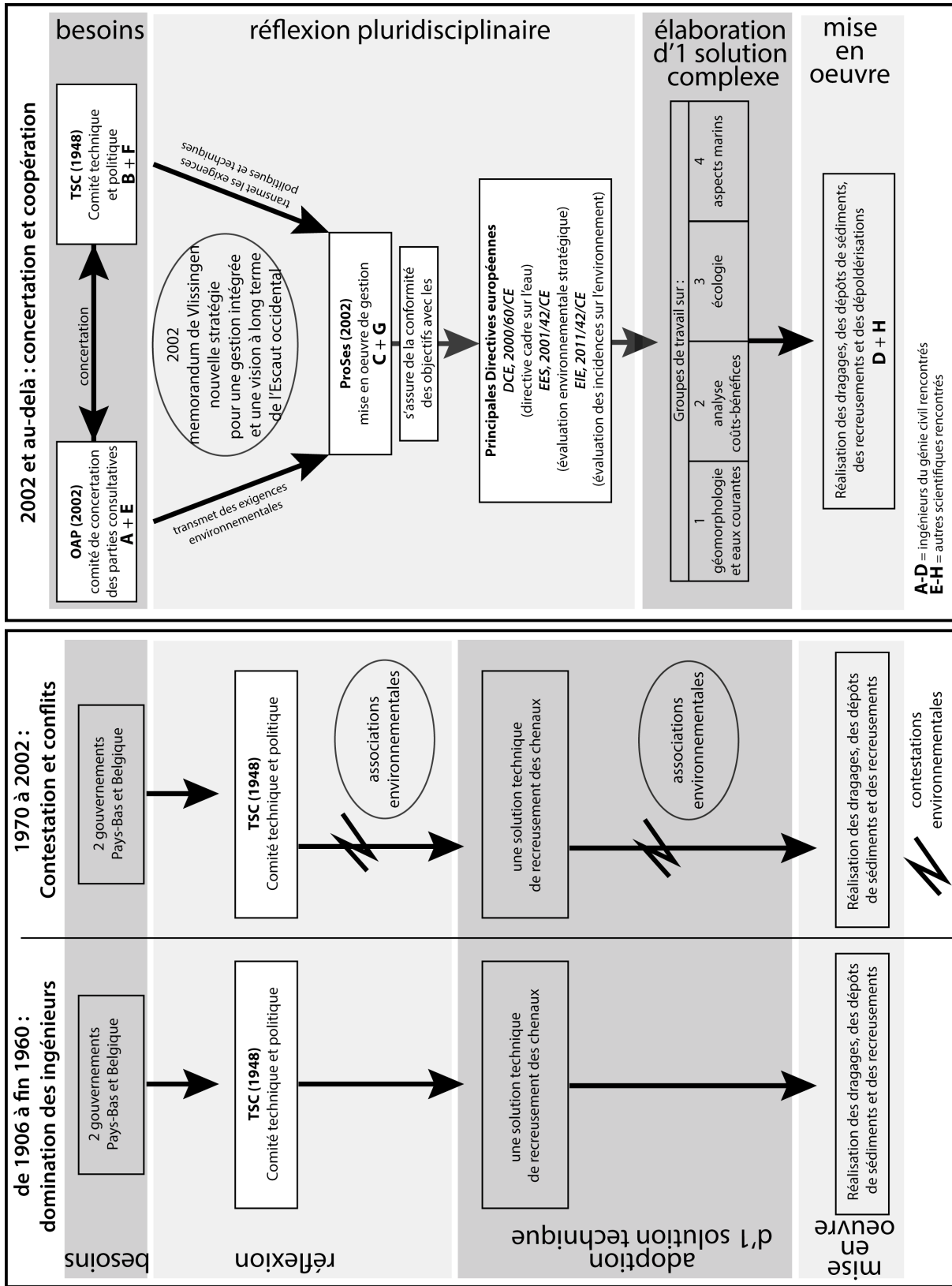


Figure 44 : Schématisation simplifiée de la gestion de l'Escaut occidental depuis 1906. Sources : d'après Peeters et al., 2007 ; Vroon et al., 1994 et entretiens.

Lors des séjours de terrain effectués aux Pays-Bas, j'ai pu mener huit entretiens auprès de personnes travaillant à la gestion de l'Escaut : quatre ingénieurs du génie civil, un ingénieur agronome, un géomorphologue, un biologiste et un écologue. L'on retrouve sur la figure 44 la façon dont ces huit personnes se répartissent. Bien évidemment, leur répartition ne saurait être suffisante pour tirer des conclusions sur la façon dont ingénieurs et non ingénieurs sont désormais amenés à réfléchir ensemble à l'avenir de l'estuaire. Une de mes ambitions sur le terrain était de recueillir les profils – même anonymes – de l'ensemble des personnes travaillant pour la gestion de l'Escaut occidental pour mieux comprendre comment les spécialités ou les formations initiales pouvaient se répartir sur le schéma de la figure 43. Malheureusement cette recherche a été vaine : d'une part, le nombre total de personnes travaillant à la gestion de l'Escaut est très important (plus de cent personnes) et une telle liste corrélant formation initiale et poste occupé n'existe pas ; d'autre part un travail de recoupement des listes du personnel employé par structure s'est révélé trop peu représentatif pour être valable et pertinent. La seule chose qu'il est possible d'affirmer est que l'ensemble des personnes rencontrées s'accordaient à dire que la pluridisciplinarité était devenue réalité, quelle que soit l'étape d'intervention ou l'objectif de gestion considéré.

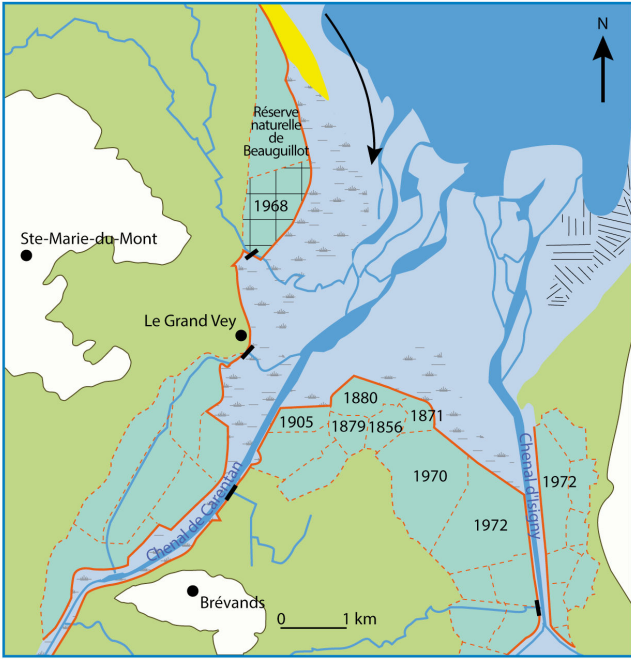
Les ingénieurs ne sont donc plus isolés, mais travaillent de plus en plus en concertation afin d'intégrer dans les solutions techniques recommandées, des enjeux écologiques et environnementaux. Ce cas d'étude montre, en tenant compte des réserves émises quant à l'impossibilité d'avoir pu généraliser le phénomène, que les ingénieurs formés en génie civil interviennent tout au long du projet, depuis la concertation entre l'OAP et le TSC jusqu'à la réalisation des travaux, en passant par le groupe de consultation ProSes. Ils se sont donc appropriés cette nouvelle organisation, qui ne les a pas mis à l'écart, mais qui en revanche a rééquilibré leur pouvoir de décision en le partageant avec d'autres spécialistes.

Cependant d'autres cas de figure peuvent se présenter, en particulier lorsque l'échelle géographique d'un projet est plus grande. C'est ce qui a pu être observé par exemple dans la baie des Veys, pour l'étude de faisabilité de dépoldérisation du polder de Sainte-Marie-du-Mont.

B. Les ingénieurs de l'ombre : l'exemple de Sainte-Marie-du-Mont

L'étude de faisabilité de dépoldérisation à Sainte-Marie-du-Mont, dans le département de la Manche, illustre bien, là encore, la diversité des structures ou organismes de gestion désormais impliqués dans la gestion du littoral français. Bien que restreinte (polder d'environ 100 ha), l'étude n'implique pas moins de vingt structures ou spécialistes. La diversité de profils des acteurs impliqués dans la gestion de l'Escaut n'est donc pas restreinte au cas néerlandais. Mais par ailleurs, ce cas d'étude témoigne d'une récente évolution de l'organisation du bureau d'ingénierie du Groupe Artélia (anciennement Sogreah) qui a remporté l'appel d'offre lancé par le Conservatoire du littoral, propriétaire du polder concerné. Avant de détailler plus avant cette « nouvelle » organisation, les paragraphes suivants présentent le site, les objectifs du projet ainsi que son déroulement.

Fiche 10 : Sainte-Marie-du-Mont
 La redéfinition du rôle des ingénieurs au sein d'une étude de dépoldérisation



- La baie des Veys**
- Chenaux
 - Schorre
 - Avancée dunaire
 - Marais
 - Altitude > 10 m
 - Dérive littorale
 - Cours d'eau
- Aménagements**
- Polder
 - Zone d'étude
 - Parcs à huîtres et moules
 - Digue de mer
 - Digue intérieure
 - 1968 Date d'endiguement
 - Ecluse ou porte à flot

Carte 32 : Le polder de Sainte-Marie-du-Mont au sein de la baie des Veys. Sources : R. Ghirardi et F. Verger, 2009, carte topographique IGN, n° 1311 OT. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2014.

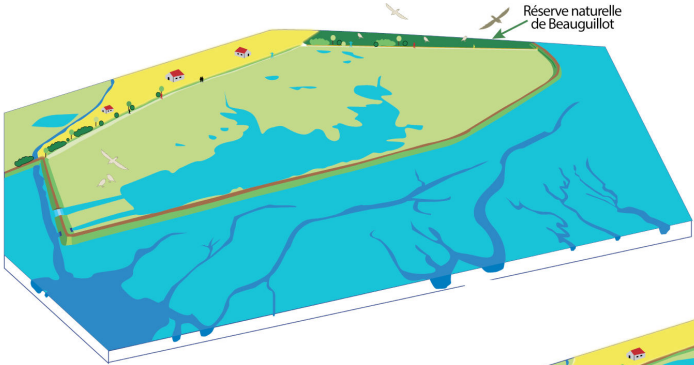


Figure 45 a : bloc diagramme du scénario 1 dépoldérisation partielle par régulation des niveaux d'eau via un ouvrage hydraulique de vidange. Vue à marée haute. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain, Artélia, 2013.

Figure 45 b : bloc diagramme du scénario 2 dépoldérisation partielle par ouverture de 2 brèches au sein de la digue de mer. Vue à marée haute. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain, Artélia, 2013.

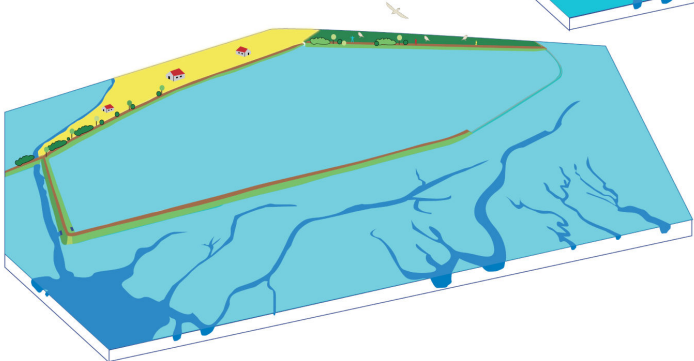
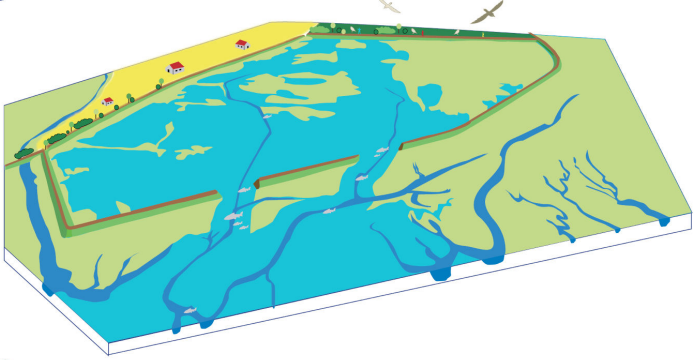


Figure 45 c : bloc diagramme du scénario 3 dépoldérisation totale par arasement du tiers nord de la digue de mer. Vue à marée haute. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013, à partir d'un Modèle Numérique de Terrain, Artélia, 2013.

1. Présentation du site et objectifs du projet de faisabilité

Le polder de Sainte-Marie-du-Mont est situé sur la côte ouest de la baie des Veys. Celle-ci a fait l'objet de nombreuses poldérisations à partir de 1850, dont une partie des travaux d'endiguement a été confiée à la Compagnie des polders de l'Ouest³. Trois principaux objectifs étaient visés : un objectif stratégique visant à améliorer la communication entre les départements du Calvados et de la Manche séparés par le chenal d'Isigny, un objectif économique lié à la transformation des terres conquises en nouvelles surfaces agricoles et enfin un objectif sanitaire relevant de l'assainissement des zones saumâtres réputées insalubres. Au total, ces poldérisations successives ont constitué près de 2300 hectares conquis sur le schorre de la baie entre 1856 et 1972 (Verger, 2009 ; Laboulais, 2009).

Le site figure parmi les dernières surfaces conquises en France puisque son endiguement date seulement de 1968. Une digue de 2,8 km de long pour 16 m de large en moyenne a ainsi été dressée par une compagnie d'ingénierie hollandaise, à l'initiative de l'Association Syndicale des polders de la commune, constituée en 1964 pour défendre les terres des submersions marines et aménager les terrains conquis. Construite sur le modèle hollandais, la digue de mer du polder de Sainte-Marie-du-Mont présente un profil typique comprenant deux replats, le plus haut est surmonté d'un chemin empierré, aujourd'hui couvert partiellement par la végétation, et le plus bas est un simple chemin de terre également recouvert par une végétation basse (Figure 46).

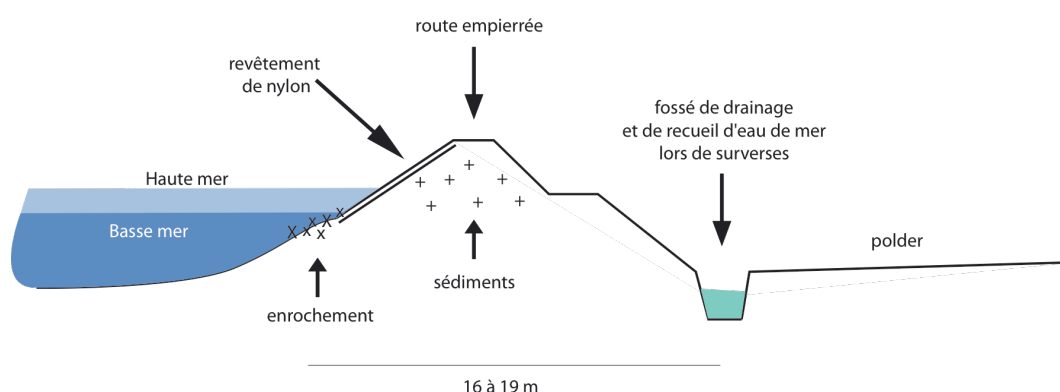


Figure 46 : profil de la digue cerclant le polder de Sainte-Marie-du-Mont.

Réalisation : S. Gueben-Venière, 2012, d'après observations.

Depuis 1998, le Conservatoire du littoral est propriétaire du polder et a confié sa gestion au SyMEL (Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche). Les plans de gestion successifs – et notamment le maintien d'un certain niveau d'eau douce au sein du polder à partir de 2009 – ont permis d'augmenter la capacité d'accueil de l'avifaune et de même que les taxons d'intérêt patrimonial, tout en autorisant une agriculture extensive. La particularité du polder de Sainte-Marie-du-Mont tient, entre autres, à la présence mitoyenne de la Réserve Naturelle Nationale de Beauguillot au nord et à l'est du site. L'ensemble, riche principalement du point de vue faunistique, a fait l'objet de nombreuses protections environnementales. Le site appartient au réseau NATURA 2000 et est ainsi concerné par une Zone Spéciale de Conservation (ZSC), au titre de la directive Habitat et une Zone de Protection Spéciale (ZPS) au titre de la directive Oiseaux. Par ailleurs, la zone d'étude s'insère dans le site RAMSAR et

³ La Compagnie des polders de l'Ouest a été créée au milieu du XIX^e siècle et avait pour vocation de construire les digues permettant de poldériser de nouvelles terres cultivables. Son périmètre d'action s'étendait sur les littoraux français de l'Atlantique, de la Manche et de la Mer du Nord.

dans le Parc Naturel Régional des marais du Cotentin et du Bessin. Enfin, le polder appartient à une zone ZNIEFF de type 1, c'est-à-dire à un espace délimité présentant un intérêt biologique remarquable.

Malgré cette richesse écologique indéniable, le polder reste isolé du fonctionnement de la baie par la présence de la digue de mer. Celle-ci constitue une entrave à la mise en œuvre de la trame bleue par exemple, dont l'objectif est d'améliorer la continuité écologique dans les zones de transition tel le littoral. Or, à l'échelle du littoral de la Manche, les poissons manquent de zones de frayère (comme pour le bar) et de nourricerie (sole ou plie)⁴. Ce constat explique en partie le choix du site par le Conservatoire du littoral pour effectuer une étude de faisabilité de dépoldérisation. Le second objectif du Conservatoire s'inscrit sur le plus long terme, dans le contexte de réchauffement climatique et d'élévation du niveau marin. En effet, à travers cette étude, l'établissement public veut poser la question de la dépoldérisation à visée défensive. Il est vrai que la France, contrairement à l'Angleterre, par exemple, n'a encore jamais opéré de dépoldérisation de la sorte. La seule opération volontaire de dépoldérisation en France remonte à 1981 dans l'Aber de Crozon et avait uniquement un objectif environnemental. Le Conservatoire a donc souhaité lancer le débat sur la question du maintien du trait de côte, s'inscrivant ainsi dans la ligne directrice de la Stratégie Nationale de gestion intégrée du trait de côte, lancée en février 2012 et dont le sous-titre s'intitule « *Vers la relocalisation des activités et des biens* ».

2. Organisation de l'étude en deux phases

Faire naître le débat autour de cette question difficile de la dépoldérisation, soulevant bien souvent craintes, incompréhensions voire réticences, suppose de réunir l'ensemble des acteurs directement et indirectement concernés d'une part, et de disposer de diverses compétences pour diriger la discussion d'autre part. Les profils attendus par le Conservatoire devaient d'ailleurs relever de plusieurs domaines comme le mentionne le cahier des charges : « *L'étude s'adresse à un regroupement de compétences dans les domaines suivants : hydraulicien, sédimentologue, géographe, écologue, juriste, sociologue, économiste* ». Le Groupe Artélia, s'est donc entouré d'un cabinet de génie écologique, d'un juriste en environnement, et d'un géographe⁵ pour remporter l'appel d'offre. L'étude a ensuite été scindée en deux phases. La première avait pour objectif intermédiaire d'identifier les enjeux présents, de déterminer les éventuels conflits d'usages et d'intérêt et de recueillir les suggestions et les attentes des différentes personnes impliquées, et pour objectif final de déterminer précisément et de façon collégiale un, voire deux objectifs de gestion, partagés par l'ensemble des personnes présentes. Ainsi, en tenant compte des objectifs de gestion retenus⁶, la deuxième phase d'étude a exposé les conséquences de l'adoption d'un des quatre scénarii envisagés : ne rien faire, effectuer une dépoldérisation par insertion d'un ouvrage hydraulique dans la digue de mer, percer cette dernière d'une brèche plus ou moins large, ou enfin araser presque totalement la digue de mer et procéder à une dépoldérisation totale du site (Figure 45 a, b et c).

4 site de l'Ifremer : http://envlit.ifremer.fr/surveillance/pollutions_accidentelles/ievoli_sun/fr/cartes, consulté le 4 janvier 2014.

5 C'est en tant que « géographe » de l'équipe que j'ai participé à cette étude et mené les entretiens mentionnés *infra*, dont quelques uns conjointement avec le chef de projet du Groupe Artélia.

6 Objectif 1 : améliorer la fonctionnalité des espaces notamment intertidaux ; objectif 2 : évaluer les fonctions défensives d'une dépoldérisation.

Pour ce faire, un COMité TECHnique (COTECH) et un COMité de PILotage (COPIl) ont été constitués. Les membres du COTECH ont été proposés par le Conservatoire. Le but était de réunir suffisamment de compétences afin de permettre une discussion technique et environnementale pertinente, tout en veillant à ne pas trop élargir ce comité de façon à pouvoir mener une réflexion concise. Le COTECH a suivi l'avancement de l'étude et validé les choix à chaque étape de décision. La constitution des membres du COPIl a été décidée par le Conservatoire en concertation avec le COTECH. Le COPIl n'est autre que l'organe délibérant du projet. Voici la liste des membres des deux comités, ainsi que des personnes consultées bien qu'elles n'aient pas pris part à l'un des comités. Toutes les personnes mentionnées ont donc fait l'objet d'un entretien qui avait un triple objectif : expliquer les fondements de l'étude, analyser les enjeux du site, recueillir les avis et expertises des uns et des autres.

Structure, Fonction personnes rencontrées par S. Gueben-Venière et/ou L. Thiébot, chef de projet	COTECH / COPIl / consultation
Syndicat Mixte des Espaces Littoraux de la Manche Garde du littoral ; Chargée de mission agricole ; Chargé de mission plans de gestion	COTECH
Parc Naturel Régional des marais du Cotentin et du Bessin Présidente ; Chargé de mission NATURA ; Chargé de mission Eau	COTECH
Réserve Naturelle Nationale de Beauguillot Gestionnaire : Association Claude Hettier de Boislambert	COTECH
Comité Régional des Pêches de Basse-Normandie Représentants	COPIl
Commune de Sainte-Marie-du-Mont Maire	COPIl
DDTM de la Manche, Délégation à la mer et au littoral Chef du pôle gestion du littoral	COPIl
GEMEL (Groupe d'Etudes des Milieux Estuariens et Littoraux) Ingénieur	COTECH
DREAL, Service Ressources Naturelles, Mer et Paysage Chef de la division "biodiversité" ; Chef de l'unité "habitat espèces espaces protégés"	COTECH
Association de Chasse Maritime de la baie des Veys Président	COPIl
Comité Régional des conchyliculteurs Représentant	COPIl
Communauté de communes de Sainte-Mère-Eglise Président	COPIl
Propriétaire du Grand Hard (hôtel - centre équestre)	consultation
Fédération Départementale des Chasseurs de la Manche Directrice ; Chargé de mission	COPIl
Les Bouchots d'Utah (entreprise de mytiliculture)	consultation
Agence de l'eau Seine Normandie Chargé d'études Littoral et Mer	COTECH
Comité Régional Conchylicole Normandie - Mer du Nord Président	COPIl
Conservatoire du Littoral Délégué régional Normandie ; Délégué adjoint ; Chargée de mission	COTECH
Conservatoire Botanique Déléguée régionale antenne Basse-Normandie	COTECH
MEDDE / DGALN / DEB, Chef du bureau du littoral et du domaine public maritime naturel	Consultation souhaitée par de Conservatoire, non réalisée
L'Agence des Aires Marines Protégées, Chargés d'étude patrimoine naturel marin	COPIl
Riverains (3)	consultation
Exploitants agricoles sous convention vente herbe (8)	consultation
EDF	COPIl

Tableau 26 : Ensemble des personnes concernées par l'étude de faisabilité de dépoldérisation

3. Une diversification remarquable des structures de gestion impliquées.

L'historique de ce cas d'étude montre un élargissement des acteurs impliqués entre le projet de poldérisation de l'époque et l'étude de faisabilité de dépoldérisation actuelle. En 1968, seules trois structures étaient concernées par la poldérisation : la mairie de Sainte-Marie-du-Mont, l'Association Syndicale des polders de la commune et l'entreprise néerlandaise en charge des travaux d'endiguement. Aujourd'hui, une « simple » étude de

faisabilité, qui intervient donc en amont d'un éventuel projet de dépoldérisation, démultiplie le nombre d'intervenants et de personnes concernées.

	1968 : mise en œuvre de la poldérisation	2011 : étude de faisabilité pour une dépoldérisation
besoin	Augmenter les surfaces agricoles disponibles Protéger les terres des submersions marines	Réfléchir aux conséquences de l'élévation du niveau marin et protéger les terres des submersions marines Protéger / restaurer les espaces intertidaux
Réponse	Une réponse technique : la poldérisation	Une réponse complexe : La concertation pluridisciplinaire et la consultation pour définir la meilleure solution technique
Acteurs	Mairie de Sainte-Marie-du-Mont Association Syndicale des polders de la commune Entreprise néerlandaise	COTECH COFIL (membres cités dans le tableau 26)
Phase opérationnelle	OUI : poldérisation	OUI : dépoldérisation ou NON : ne rien faire
financement	nc	50 % : EDF (pour compensation écologique) 50 % : Agence de l'Eau Seine Normandie
durée	nc	2 ans

Tableau 27 : de la poldérisation effectuée par les ingénieurs à une étude de dépoldérisation effectuée par une équipe pluridisciplinaire.

L'intervention des structures mentionnées dans l'étude de faisabilité s'explique par les missions de chacune en rapport avec les usages et statuts du polder. Les différents niveaux de protection qui s'appliquent au polder justifient par exemple l'intervention du PNR ou de la RNN dans la concertation et la prise de décisions techniques. L'activité agricole pratiquée, bien que sous convention avec le Conservatoire, justifie également la consultation de l'ensemble des agriculteurs concernés. Le financement de l'étude à hauteur de 50 % par EDF, pour mesure compensatoire de la destruction d'une zone humide sur le site de l'EPR de Flamanville, explique la présence de l'entreprise dans le COFIL. Ainsi le développement d'un espace littoral multifonctionnel a entraîné une complexité des projets de gestion. Le polder de Sainte-Marie-du-Mont, créé pour un usage agricole unique en 1968, a développé par la suite des usages touristiques, des fonctions écologiques et s'est inscrit comme espace fonctionnel incontournable servant de zones de remise et de gagnage pour l'avifaune au sein d'un ensemble plus large. L'ensemble des nouveaux usages développés sur le site a fait évoluer les objectifs de gestion et ainsi élargi les besoins de compétence pour formuler une réponse adéquate.

Or, parmi les membres du COTECH, aucun n'avait le profil d'un ingénieur de génie civil, et ce même au sein du Groupe Artélia. En effet, la personne ayant répondu à l'appel d'offre a une formation de géographe, de même que le chef de ce projet. Ceci ne veut pas dire que les ingénieurs ont été absents du projet. Ces derniers sont intervenus dans la phase 2 du projet pour effectuer les calculs de modélisations nécessaires à l'élaboration des trois scénarios de dépoldérisation envisagés. Pour ce faire, ils ont disposé d'informations recueillies par l'équipe de travail et tenu compte des objectifs définis à l'issue de la première phase du projet.

Dans cette étude de faisabilité, les ingénieurs n'ont jamais rencontré directement leurs interlocuteurs et n'ont pas participé au COTECH. Ils ont principalement travaillé en aval du projet et à la modélisation des scénarios. La synthèse de leur travail a donc été présentée par des non ingénieurs. La figure ci-dessous est extraite du power point présenté en novembre 2013. Elle montre le comportement du site en fonction du scénario 1 et des marées. Une animation permettait de visualiser la hauteur et la vitesse de l'eau à mesure que le curseur évoluait sur le profil d'évolution de l'amplitude de marée. Cette forme dynamique de

présentation a été très appréciée par les personnes présentes. Elle offre aux ingénieurs l'opportunité de mieux faire comprendre leur travail.

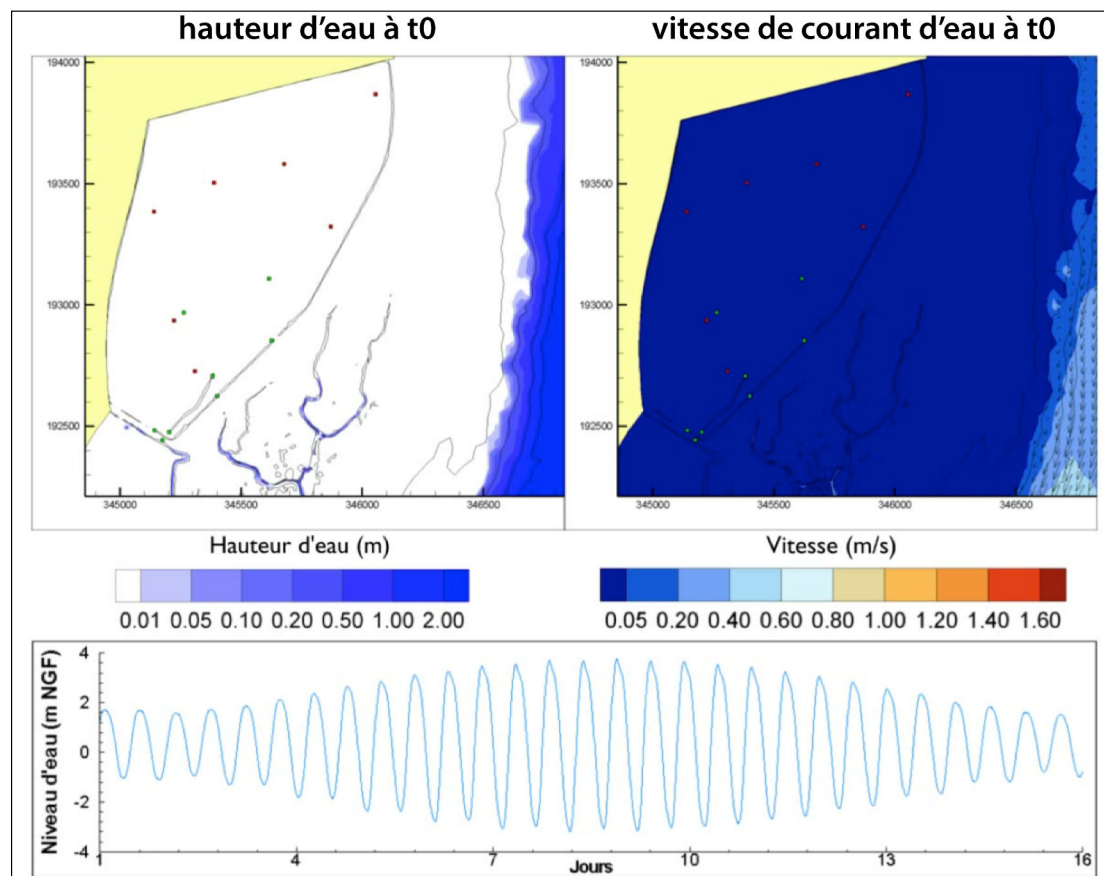


Figure 46 : Extrait d'animation présentant le résultat d'un travail de modélisation effectué par les ingénieurs. *Source : Artélia, 2013 pour le Conservatoire du littoral.*

La démarche du Conservatoire peut être considérée ici comme exemplaire, puisque l'établissement public prend l'initiative d'une réflexion à long terme, menée hors contexte de crise et donc sans pression quelconque liée à l'urgence d'une mise en œuvre de travaux de protection contre les submersions marines. Par conséquent on pourrait croire que le souci de démonstration du Conservatoire, tant du point de vue technique (la dépoldérisation) que social (la concertation) ou encore environnemental (l'amélioration de la fonctionnalité des espaces intertidaux), fait de ce cas d'étude un exemple un peu particulier. Pourtant cette évolution vers une diversification des structures impliquées dans la gestion du littoral se constate également pour d'autres projets. Dans l'ouvrage *Dépoldériser en Europe occidentale - Pour une géographie et une gestion intégrées du littoral*, L. Goeldner-Ginaella, offre une synthèse détaillée des dépoldérisations effectuées en Europe du Nord-Ouest depuis la fin du XIX^e siècle (Goeldner-Gianella, 2013). Certes, la dépoldérisation ne représente qu'une des formes de gestion des côtes basses et ce mode de gestion a principalement correspondu dans un premier temps à des objectifs exclusivement environnementaux ou à de « simples » compensations écologiques. Cependant, l'évolution des modalités de sa mise en œuvre est très intéressante. En Europe occidentale, sur 71 dépoldérisations effectuées, décidées ou

projetées, 26 avaient ou ont pour principal opérateur une structure à vocation environnementale (avec une forte représentation du Conservatoire du littoral pour la France). Sur ces 26 projets, 6 ont été conjointement menées par une structure à vocation environnementale et un opérateur à visée défensive (protection contre les submersions marines et les inondations). Par ailleurs, même lorsque l'objectif premier de dépoldérisation n'est pas uniquement environnemental, le principal opérateur peut avoir une vocation exclusivement environnementale. Par exemple, dans 13 cas l'objectif de dépoldérisation était ou est à la fois environnemental et socio-économique. Or, sur ces 13 cas, 9 ont été orchestrés par un seul opérateur à vocation environnementale. Ceci montre une implication croissante des structures à vocation environnementale dans les décisions, et incite à regarder de plus près quand et comment des non ingénieurs ont peu à peu investi des postes clé de la gestion du littoral.

II. Une ouverture de postes clés à des non ingénieurs ?

Il est difficile, à travers une étude qualitative reposant principalement sur la réalisation d'entretiens, de démontrer comment les non ingénieurs semblent avoir progressivement occupé des postes de gestion clé, autrefois chasse gardée des ingénieurs du génie civil, et donc de mesurer l'ampleur du phénomène. Cependant, à travers les discours des ingénieurs comme des non ingénieurs, cette tendance a été fortement ressentie. Cette deuxième partie de chapitre présente donc très simplement une synthèse élaborée principalement à partir d'extrait d'entretiens ayant décrit cette évolution.

A. Des géomorphologues, des juristes, des géographes et des biologistes qui montent en puissance en France et en Angleterre.
--

Comme cela a été évoqué dans le chapitre 5, *Environnement Agency* a progressivement, à partir des années 1990, embauché de plus en plus de géomorphologues du littoral. L'agence avait besoin, pour élaborer une stratégie globale de gestion côtière de mieux comprendre le fonctionnement des côtes et notamment les cycles d'érosion et d'apports sédimentaires des côtes basses. De même, les personnes rencontrées pour le projet de dépoldérisation de Selsey/Medmerry présentaient des profils variés. L'un des Project manager du projet global expliquait qu'il avait une formation initiale effectuée à l'université de Plymouth en sciences environnementales et qu'il s'est par la suite spécialisé en environnement littoral. Cette formation mélangeant sciences techniques, naturalistes et sciences humaines, lui a permis, moyennant quelques années d'expérience, de diriger aujourd'hui une équipe de plusieurs dizaines de personnes pour mener à bien le projet de gestion côtière de Selsey/Medmerry. Sa mission consiste principalement à faire le lien et assurer le dialogue entre ingénieurs de génie civil, consultants en environnement et population locale :

« L'équipe que je manage doit surveiller plusieurs choses en même temps : nous devons étudier la faisabilité d'application à l'échelle locale des SMP's. Par exemple, si vous prévoyez de faire des travaux qui concernent la côte et qu'une rivière peut aussi provoquer des inondations à l'arrière littoral, alors vous devez regarder la

gestion de l'ensemble. Et quand vous avez été entraîné à avoir une vision large du littoral, c'est beaucoup plus facile ! Et par ailleurs mon équipe procède à une analyse fine des coûts et bénéfices engagés par la solution a priori retenue⁷ »

Selon lui, l'accès à cette position stratégique de coordination des différents corps de métier et des différents objectifs est aujourd'hui, et depuis plusieurs années déjà, facilitée par une formation universitaire qui offre une vision plus large des choses qu'une vision simplement technique du littoral.

Un des entretiens menés au sein de l'administration centrale du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie a été particulièrement instructif sur les raisons de cette évolution qui se ressent aussi en France. L'ingénieur en question a remis en cause de façon assez passionnée le système de formation des ingénieurs sortant de grandes Écoles :

« Même si vous sortez d'une grande École d'ingénieurs, si vous n'avez pas, dans le monde professionnel, une certaine autonomie, une certaine curiosité personnelle des choses – qui font un tri impitoyable quand vous êtes à la fac – cela se voit inmanquablement. Je pense que les trois quarts des gens qui ont un diplôme d'ingénieur, même dans cette noble maison, ne méritent pas cette distinction d'élite du diplôme : quand je discute et que je travaille avec eux tous les jours, je ne trouve pas dans ce qu'ils font - ce qui pour moi devrait être une exigence minimum – un raisonnement structuré, une capacité à appréhender des choses de nature variée, une rigueur de raisonnement et de restitution. Ces gens se targuent de leur diplôme, parce que c'est eux qui ont besoin de se rassurer en montrant bien qu'ils sont passés un jour par un diplôme x ou y. Mais voilà, bizarrement c'est eux qui bien souvent sont les plus faibles sur la réalité de ce qu'ils portent. Et donc, des gens qui proviennent d'un autre type de formation peuvent présenter un parcours et donc une aptitude individuelle bien supérieure aux premiers. C'est pourquoi j'essaye de toujours adapter mon mode de management en fonction du profil des personnes que je recrute parce que je crois énormément au potentiel individuel des gens et donc au besoin de les gérer individuellement et à la nécessité de ne pas les enfermer dans des cases ».

Bien sûr cet extrait d'entretien relate un avis personnel, mais il est formulé par un ingénieur lui-même issu d'une grande École et peut trouver un intérêt dans cette analyse. C'est également ce qu'a écrit un ingénieur dans un article intitulé « Je suis X-Mines mais je me suis soigné... », publié en 2011 dans *Les Échos*⁸ :

7 « *The team I manage has to look at several things at the same time : it looks at how feasible delivering what those wide scale plans come up with (the SPM's). For instance, if you're planning to do some works on the coast, and it would flood from the river behind anyway, then you have to look at it together. And when you've been trained to develop a wild vision of the coast, that's lot more easier ! Then my team also has a closer look at the costs and benefits of the envisaged solution* »

8 Mehr P., 11 février 2011, « Je suis X-Mines mais je me suis soigné... », in *Les Échos*, n°20868, p. 19, consultable sur le site :file:///Users/SV/Documents/rédac/Partie%204/Je%20suis%20XMines%20mais%20je%20me%20suis%20soigné....webarchive

« Ma femme - Américaine - n'a jamais compris pourquoi avoir fait mes études à l'École polytechnique et être devenu ingénieur au Corps des Mines à vingt et un ans m'ont assuré automatiquement des postes de haut niveau dans la fonction publique ou dans des entreprises contrôlées par l'État [...]. « Sortir de certaines écoles », est-ce suffisant pour garantir à quelqu'un un emploi à vie ? [...] L'esprit d'initiative et le talent des jeunes Français les mieux formés doivent être libérés afin que l'économie française bénéficie de leur créativité. C'est dans cette perspective que la France doit abolir les grands corps de l'État, la sécurité d'emploi et le prestige qui les accompagnent - une prison dorée datant d'une autre ère. »

La question des grands corps de l'État a également été soulevée par d'autres ingénieurs rencontrés, eux mêmes issus de grandes Écoles. Plusieurs ingénieurs ont expliqué leur attachement à l'existence des corps, non uniquement pour défendre des intérêts personnels, mais bien parce qu'il leur semblait nécessaire que l'État puisse compter sur des ingénieurs ayant reçu une formation générale et technique de haut niveau. Mais il est vrai que ce système de recrutement et le fait de réserver des postes clés de gestion ne permet pas de faire valoir d'autres parcours personnels et des aptitudes individuelles. Ceci est d'autant plus vrai pour la gestion du littoral en ce sens qu'il n'existe pas dans ce domaine d'équivalent des « génie civil » et « génie rural » traditionnels. L'appellation « génie côtier » se retrouve plutôt dans les cursus universitaires (université de Caen par exemple). Ainsi les ingénieurs d'État ne suivent pas forcément une évolution de carrière en fonction d'un domaine qui leur tient à cœur, mais plutôt sur les conseils du corps auquel ils appartiennent, qui va les orienter dans la progression de leur carrière :

« Le temps passé à un poste est très lié à la gestion des corps d'ingénieurs. C'est plus ou moins tacite. Rien n'est écrit dans le marbre, mais traditionnellement, on vous conseille de quitter un poste au bout de trois ans pour évoluer dans votre carrière. Moi par exemple, lorsque j'ai pris mon poste il y a cinq ans, on ne m'a pas dit 'tu es là pour trois, quatre ou cinq ans'. Mais pour la gestion globale du corps, la gestion des ressources humaines au sein du ministère, on me dit que ce serait bien que je puisse évoluer, que j'aille prendre un autre poste ailleurs et que j'aille voir autre chose, pas forcément dans le domaine de la gestion du littoral ».

Les grandes Écoles d'ingénieurs revendiquent des formations généralistes, mais il semblerait que d'autres profils, universitaires, à la fois spécialistes car ayant poursuivi tout leur parcours de formation dans le domaine littoral, et possédant une vision approfondie mais aussi plus large de la gestion côtière, puissent être tout aussi compétents que les ingénieurs pour prendre ces postes. Pourtant, un article récent sur les métiers liés à l'environnement et la géomatique⁹ - compétence de plus en plus recherchée dans le domaine de la gestion du littoral - met en exergue l'inégalité des chances de recrutement dans la fonction publique qui peut exister entre les profils d'ingénieurs et d'universitaires :

⁹ « convergence de la géographie (« géo ») et de l'informatique (« matique ») » (Vanara N., Huet C., Payet N., Pech P., Goeldner-Gianella L., janvier-mars 2014, « Environnement et géomatique : des métiers en mutation », *EchoGéo* [En ligne], 27 I 2014, mis en ligne le 01 avril 2014, p. 3)

« [...] jusqu'en 2007, le concours d'ingénieur subdivisionnaire de la fonction publique territoriale était ouvert à des étudiants issus, non seulement d'écoles d'ingénieur, mais aussi de formations universitaires en environnement ou en aménagement intégrant de la géomatique. En 2007, ce recrutement fut restreint aux seuls élèves issus des écoles d'ingénieurs, possédant ou non des compétences en géomatique. Or, cette discipline mérite, selon nous, une plus grande considération dans les recrutements de cadres de la fonction publique, à la hauteur de la considération déjà acquise dans le privé, notamment lorsque la géomatique est appliquée au champ de l'environnement »¹⁰.

Enfin, au-delà de cette compétition possible entre ingénieurs et certaines disciplines universitaires, l'élaboration la gestion du littoral est indissociable de la transposition des recommandations européennes dans le droit national. Ainsi les juristes, notamment spécialistes en droit communautaire, sont de plus en plus sollicités et peuvent être amenés à occuper des postes auparavant attribués à des ingénieurs de génie civil. C'est ce que le Chef du bureau « Littoral et domaine public maritime naturel », de la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Énergie réalisait lors de l'entretien :

« Avant mon arrivée en 2008, mon poste a également été occupé par un juriste, mais auparavant, c'était un ingénieur des Ponts, c'est vrai... Je pense que les questions juridiques dans l'administration centrale ont pris de plus en plus d'importance : l'État a perdu ses missions d'aménageur depuis la décentralisation, il n'a plus la maîtrise d'ouvrage de l'aménagement du territoire. Donc tout cet aspect très technique et très pratique est aujourd'hui passé du côté des collectivités locales. [...] Quand je suis arrivé en 2008, parmi les chefs de service des départements littoraux, la moitié était encore issue des Ponts et Chaussées. Aujourd'hui, tous sont partis dans les services déconcentrés et ont été remplacés par des juristes en fait. »

Ainsi, la réorganisation de l'administration centrale et la perte progressive de maîtrise d'ouvrage de l'État a finalement reprofilé des postes historiquement occupés par des ingénieurs des Ponts et Chaussées par exemple. Côté néerlandais, cette évolution a aussi été discutée en entretien, mais il s'avère qu'elle a pris forme beaucoup plus tôt qu'en France et même en Angleterre, dès les années 1970. Un homme, Henk Saeijs est encore aujourd'hui associé au symbole de cette transition.

10 op. cit., p. 7

B. Henk Saeijs, un biologiste et écologue visionnaire

À la question suivante : « Pouvez-vous citer une personne qui a eu un rôle clé dans l'évolution de la gestion du littoral et qui éventuellement a fait évoluer votre vision de cette gestion ? », de nombreuses personnes ont spontanément mentionné Henk Saeijs en premier lieu :

« *C'est Henk Saeijs ! C'est notre Père à tous !¹¹* »

« *Henk Saeijs est certainement la personne qui a définitivement influencé la gestion côtière et la gestion des eaux douces et salées.¹²* »

« *Henk Saeijs était un homme de caractère qui a su amener le Rijkswaterstaat à revoir complètement sa façon de penser la gestion de l'eau¹³* »

« *Cet écologue a réussi à transformer la vision technique des ingénieurs du Rijkswaterstaat en une vision plus large.¹⁴* »

« *Henk Saeijs était un biologiste et un écologue qui a réussi à réunir les gens, à les faire travailler ensemble pour trouver de nouvelles solutions de gestion des côtes et des estuaires¹⁵* ».

Ce biologiste et écologue de formation a durablement marqué les esprits et bénéficie, trente ans après son entrée au Rijkswaterstaat, d'une reconnaissance tant de la part des ingénieurs que des autres scientifiques. Aujourd'hui encore, les scientifiques néerlandais considèrent H. Saeijs comme « *un des pères fondateurs du concept de gestion intégrée de l'eau¹⁶* » qui a « *contribué à répandre le savoir en écologie au sein du Rijkswaterstaat¹⁷* » (van den Brink *et al.*, 2011, p. 140). Son parcours professionnel est en effet suffisamment remarquable pour s'y attarder quelques instants.

Le Rijkswaterstaat, qui a publié en 2008 le célèbre ouvrage de H. Saeijs *Turning the tide. Essays on Dutch ways with water*, présente l'auteur comme « *père spirituel et force motrice de la modernisation et de l'« écologisation » de la gestion de l'eau aux Pays-Bas depuis les dernières décennies du XXe siècle jusqu'à aujourd'hui¹⁸* ». Ce livre résume l'ensemble de son expérience professionnelle et expose ses convictions sur le besoin fondamental d'une vision plus large de la gestion de l'eau aux Pays-Bas. Le style est

11 « *That's Henk Saeijs ! He's one of our god fathers !* »

12 « *Henk Saeijs is for sure the guy who definitively influenced the way to manage the coast and to deal with fresh and salt water* »

13 « *Henk Saeijs was a very strong minded guy who pushed indeed the Rijkswaterstaat to completely change its approach for water management* »

14 « *This ecologist succeeded in transforming the technical vision of the engineers of the Rijkswaterstaat into a broader view* »

15 « *Henk Saeijs was a biologist and an ecologist who has been able to gather people together and to make them cooperate to find new solutions for coastal and estuarine management* »

16 « *one of the founding fathers of the concept of integrated water management* »

17 « *contributing to the dissemination of ecological knowledge within Rijkswaterstaat* »

18 « *the spiritual father and driving force behind the modernization and « ecologization » of water management in the Netherlands that took place in the last decades of the 20th century until now* »

déterminé, les titres cinglants : « Back to Mother Nature » ; « Polders, keep them or kill them ? » ou encore « Mother Nature, the best engineer around » ! Pourtant, Henk Saeijs a su rassembler les gens et faire passer son message en valorisant leurs compétences respectives – la publication par le Rijkswaterstaat d'un ouvrage qui, si l'on s'en tient aux seuls titres pourrait être blessant pour le corps des ingénieurs de cette institution, en est la preuve même. Mais il explique en préface : « *Mon leitmotiv « les problèmes n'existent pas, seuls les défis existent » a guidé mon travail et m'a fourni l'enthousiasme nécessaire pour traiter la question de la gestion de l'eau*¹⁹ » (Saeijs, 2008, p. V). Cette force de caractère, cette énergie déployée tout au long sa carrière pour amorcer une coopération entre ingénieurs du génie civil et écologues qui s'est révélée très fructueuse en ont fait un homme définitivement tourné vers l'avenir, persuadé que seule la concertation permettrait au pays de s'ouvrir à de nouvelles opportunités de gestion du littoral et des estuaires.

En 1971, alors que les ingénieurs du Rijkswaterstaat subissent de plein fouet la crise environnementale et sociale liée à la fermeture, par le dernier barrage prévu par le plan Delta, de l'Escaut oriental²⁰, Henk Saeijs est embauché comme biologiste au sein du RIZA, le service de traitement des eaux usées rattaché au département chargé de mener à bien le plan Delta de 1955. Très rapidement il a compris le point de vue des ingénieurs et donc ce qui bloquait tout dialogue possible entre ingénieurs et écologues. C'est d'ailleurs ce point qu'il a développé en entretien :

« Les ingénieurs étaient concentrés sur les barrages et pas sur l'aire géographique qu'ils devaient gérer. Ils confondaient gestion estuarienne et barrages : un barrage n'est qu'un instrument de la gestion de l'estuaire. Et c'est exactement le point qu'ils avaient manqué...²¹ »

À force de persuasion, d'une grande écoute et d'un optimisme sans faille, Henk Saeijs a progressivement réussi à transmettre sa vision intégrée et complexe de la gestion des eaux. Ceci a eu pour conséquence un élargissement progressif des profils recrutés au Rijkswaterstaat entre 1971 et 1985.

¹⁹ « My motto « problems don't exist, only challenges do » has guided the path in my working years and provided me with the required enthusiasm when dealing with water management »

²⁰ Cf. chapitre 6

²¹ « The engineers were focussed on dams and not on the geographical area they had to managed. They were making the confusion between dams and estuarine management : a dam is not more than an instrument to manage the area. That was exactly the point they were missing... »

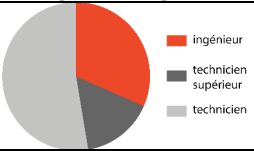
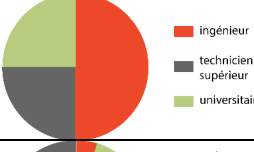
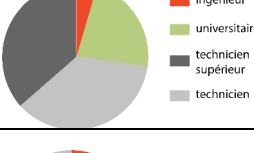
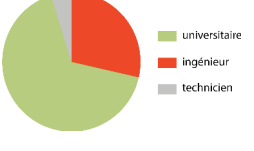
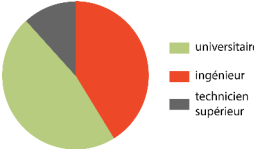
année	Unité de gestion au sein du RWS	Disciplines représentées au sein de la direction de l'unité de gestion	Diagrammes en secteur de la répartition des profils
1970	Gestion de l'eau	6 ingénieurs 3 techn. sup. 10 techn.	
1971	Gestion de l'eau Subdivision pour la recherche en environnement	2 ingénieurs 1 biologiste (H. Saeijs) 1 techn. sup.	
1975	Section recherche en environnement	1 ingénieur (Chef du dpt) subdivision rech. enviro. : 5 universitaires (postes clés) 8 techn. sup. 8 techn.	
1980	Département environnement	1 ingénieur (Chef du dpt) Section rech. enviro. : H. Saeijs (Chef de la section) 5 universitaires (postes clés) 1 ingénieur (poste clé) 9 universitaires 4 ingénieurs 1 techn.	
1985	Département environnement	1 ingénieur (Chef du dpt) 1 ingénieur (Chef de la section « terre ») 4 universitaires 2 ingénieurs 1 ingénieur (Chef de la section « eau ») 4 universitaires 2 ingénieurs + 2 techn. sup.	

Tableau 28 : évolution de la recherche en environnement entre 1970 et 1985 au sein du département Delta du Rijkswaterstaat. *Source* : d'après Disco, 2006.

Ce tableau met bien en évidence le basculement qui s'est opéré entre 1970 et 1971 au sein du Rijkswaterstaat. En 1970, l'unité de gestion de l'eau était dirigée, entre autres, par six ingénieurs mais aucun universitaire. En 1971, une subdivision pour la recherche en environnement est créée au sein de l'université pour atténuer le conflit alors à son apogée entre ingénieurs et techniciens d'un côté et écologistes, pêcheurs, certains hommes politiques et opinion publique, de l'autre. Cette subdivision est dirigée par deux ingénieurs et Henk Saeijs, premier universitaire à intégrer « l'État dans l'État » – surnom alors donné au Rijkswaterstaat. Henk Saeijs a pour mission de mener des recherches sur l'écologie de l'estuaire et de formuler des recommandations sur sa préservation. En 1975, cinq universitaires occupent des postes clés au sein de la section de recherche en environnement. En 1980, Henk Saeijs prend la tête de cette section, avant de devenir deux ans plus tard un décideur central dans la gestion du personnel et des recrutements. C'est la même année, en 1982 qu'il publie sa thèse en écologie *Changing estuaries* qui a connu un grand succès. En 1990, il dirige l'antenne néerlandaise du Rijkswaterstaat.

Conclusion du chapitre 9

L'ouverture progressive – et particulièrement précoce aux Pays-Bas – de postes stratégiques dans la gestion du littoral aux non ingénieurs a eu pour conséquence une dispersion voire une réorganisation des ingénieurs au sein des structures privées comme publiques. Le Rijkswaterstaat a recruté de plus en plus d'écologues et d'environnementalistes dès le milieu des années 1970 avant d'offrir en 1980 la direction de la subdivision zélandaise de la gestion de l'eau à un écologue-biologiste. Une inversion s'est donc produite : il ne faut plus forcément être ingénieur pour diriger une équipe et des écologues peuvent désormais diriger des équipes d'ingénieurs. Cette tendance est également valable pour l'Angleterre au sein de *Environment Agency* puisque des géomorphologues, à partir du début des années 1990, ont progressivement pris la direction d'équipes d'ingénieurs. La France a suivi la même direction plus récemment (années 2000) en ouvrant par exemple à des juristes la Direction Eau et Biodiversité au sein de la DGALN22 du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Par ailleurs, à l'échelle d'un projet ou d'une étude de faisabilité, les ingénieurs ne sont parfois plus directement en contact direct avec l'ensemble des acteurs du projet et peuvent n'intervenir que ponctuellement lors des phases de modélisation.

Ceci montre un certain retrait des ingénieurs par rapport à la position de premier plan qu'ils détenaient naturellement auparavant. Pourtant ce constat ne saurait être tout à fait complet et donc représentatif de la façon dont ces ingénieurs se sont adaptés à ce nouveau contexte toujours en évolution. D'autres situations se dessinent, dans lesquelles les ingénieurs ont réussi à saisir de nouvelles opportunités et redéfinir leur rôle.

Nouveaux objectifs de gestion, nouveaux rôles des ingénieurs ?

Le renouvellement des objectifs associés à une gestion intégrée du littoral et des estuaires a forcé les ingénieurs à élargir leurs compétences pour se repositionner au sein de l'ensemble des acteurs désormais impliqués. Leur intervention dans des projets de restauration de vasières a commencé de façon inattendue en France dans les années 1990. Mais il semblerait que les ingénieurs aient vu le potentiel de ce nouveau genre de projet et trouvé un nouvel angle d'approche pour mettre en application leurs connaissances techniques particulièrement utiles pour remodeler les terrains des milieux entre terre et mer, au point de développer une nouvelle forme d'ingénierie : l'ingénierie écologique. Aux Pays-Bas, principalement, une réflexion sur les notions de complexité, de mobilité et d'incertitude a conduit certains ingénieurs à développer d'autres formes de réponse à l'élévation du niveau marin en s'intéressant au bâti. Les maisons flottantes dépassent aujourd'hui le stade de l'idée et s'annoncent comme un projet ambitieux, déjà partiellement mis en œuvre et qui ne demande qu'à se développer. Là encore, les connaissances et le savoir-faire techniques des ingénieurs s'avèrent très utiles et peuvent leur permettre de trouver une nouvelle place au sein des innovations de gestion dans le domaine littoral.

I. Des ingénieurs du génie civil au service des écosystèmes ?

A. Des endiguements à la restauration des vasières : le cas de l'estuaire de la Loire

L'histoire de l'aménagement de la Loire est assez classique et présente en ce sens de nombreux objectifs d'aménagement communs avec d'autres estuaires nord européens tels l'Escaut occidental. L'originalité de l'estuaire de la Loire en revanche, réside dans la relative précocité avec laquelle les problèmes environnementaux ont été soulevés. Selon A. Miossec « *c'est dans l'estuaire de la Loire que la situation est la plus exemplaire de la nouvelle démarche* » (Miossec, 1999). La constitution de groupes de réflexion pluridisciplinaires a en effet été mise en place dès le milieu des années 1980 pour réfléchir aux conséquences néfastes des aménagements effectués au cours des deux derniers siècles qui ont touché non seulement la qualité écologique de l'estuaire, mais également les secteurs économiques et sociaux.

Afin de mieux comprendre comment des ingénieurs, formés en génie civil, en sont venus progressivement à travailler à la restauration des écosystèmes estuariens, les paragraphes suivants proposent une mise en perspective des besoins d'aménagement de l'estuaire de la Loire et des solutions techniques mises en œuvre depuis le milieu du XIX^e siècle pour y répondre. Les conséquences tant économiques que sociales et environnementales sont ensuite exposées.

1. Le travail des ingénieurs du XIX^e siècle

a. De la défense de l'intérêt général à celle de l'intérêt urbain

Vers 1825, l'estuaire de la Loire a connu un regain économique grâce notamment au développement des bateaux à vapeur (Fleury, 1998). Au milieu du XIX^e siècle, le chaland, doté d'une grande voile carrée, est ainsi peu à peu concurrencé par ces nouveaux engins, haut symbole de modernité, dont l'exploitation nécessitait alors un environnement adéquat, c'est-à-dire la création d'un véritable chenal de navigation. Pour répondre à cette demande, un Service spécial de la Loire, dirigé par les ingénieurs des Ponts et Chaussées, a été créé en 1840. C'est d'ailleurs à partir de cette date qu'Y. Lecoœur, dans un article consacré à l'histoire des aménagements de la Loire au XIX^e siècle, considère que « *la Loire entre dans l'ère des ingénieurs* » (Lecoœur, 2011, p. 4). En effet, cette nouvelle donne économique, de même que la mise en place de ce service spécial, va conforter l'intervention technique et notamment la volonté d'intensifier les endiguements dans l'estuaire. Les années 1840 marquent ainsi une double transition pour les ingénieurs des Ponts et Chaussées. D'une part l'intérêt général, dont ils étaient les garants jusqu'alors, glisse *in fine* vers un intérêt urbain. En effet, la seule concession faite à certains petits ports tels celui de Couëron a été de financer la construction de quais à partir de sédiments dragués dans le chenal de navigation desservant Nantes, que les ingénieurs ne savaient où déposer (Le Marec, 2000). D'autre part l'administration des Ponts et Chaussées, dont les ingénieurs sont entièrement dépendants, modifie à l'époque sa stratégie d'implantation des ingénieurs du corps : « *À l'ingénieur inséré dans le milieu local par des liens familiaux, sociaux ou de propriété, succède l'ingénieur qui refuse cet « esprit de localité » au nom d'une vision théorique du projet. Extérieurs à la société locale [dans la seconde moitié du XIX^e siècle], les ingénieurs sont moins sensibles à ces pressions [locales]* » (Le Marec, 2000, p. 125). Cette tactique a pour conséquence de renforcer la défense d'un intérêt général orienté en se débarrassant des obstacles locaux et d'une certaine façon de « déshumaniser » le rôle des ingénieurs. Le Conseil Général des Ponts et Chaussées, auquel les ingénieurs doivent rendre compte des fondements de leurs intentions et justifier le coût des travaux qu'ils envisagent, encourage également cette évolution : la réalisation de grands projets, telle la réalisation d'un chenal de navigation, répond d'une part à la logique techniciste du corps consistant à « maîtriser la nature » pour servir le progrès économique et social, et permet d'autre part aux ingénieurs de franchir une étape importante dans leur carrière. Ces derniers imposeront donc sans grande difficulté leur point de vue et passeront outre les diverses contestations. Le travail des ingénieurs a alors consisté à renforcer, à l'échelle de l'estuaire aval, l'exploitation d'un système que D. Fleury qualifie de « centrifuge ».

Fiche 11 : L'estuaire de la Loire historique

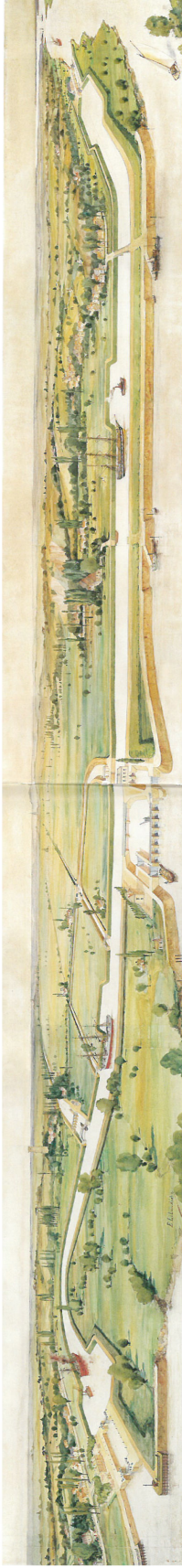


Figure 48 : Le Canal de la Martinière. Aquerelle de Libaudière.

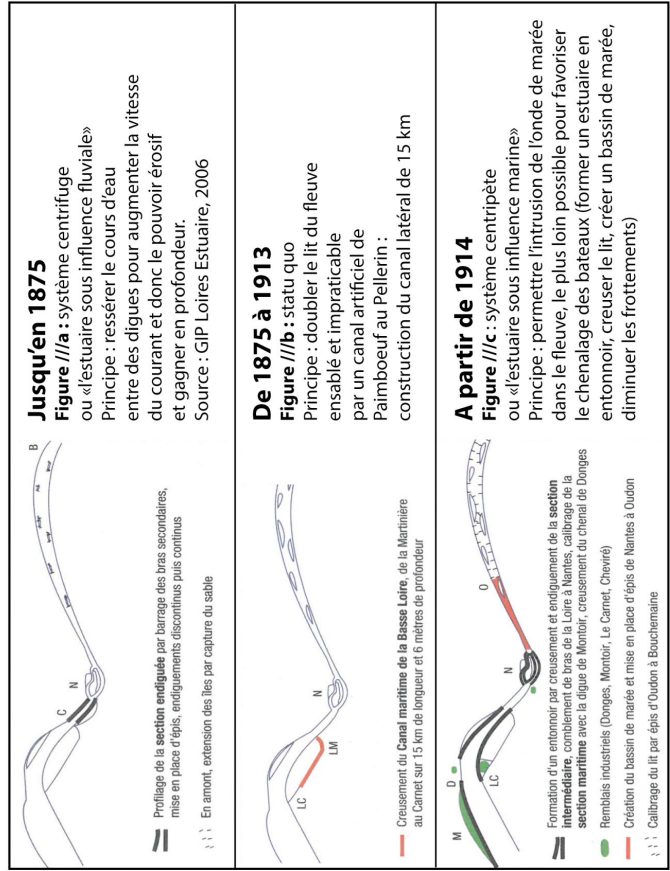
Le canal a été ouvert en 1892 et longe la rive gauche de la Loire sur 15 km. L'idée d'un tel aménagement avait déjà été soumise par les Hollandais au XVII^e siècle. Deux écluses fonctionnant uniquement à pleine mer en fermaient les extrémités. Il fallait donc deux marées pour qu'un bateau d'un tirant d'eau de 6 m puisse le parcourir.
Source : *Decours, 2006*

Figure 49 : Vue du port de Saint-Nazaire en 1876. Anonyme.

Un système d'écluse régule l'entrée des bateaux dans le bassin du port de Saint-Nazaire. On aperçoit de nombreux voiliers malgré la concurrence des navires à vapeur lancés dès 1825.
Source : *Decours, 2006*



Figures 50 : évolution des théories hydrodynamiques mises en oeuvre par les ingénieurs du début du XVIII^e siècle, jusqu'à la fin du XX^e siècle.
Source : *GIP Loire Estuaire, 2006*



b. Amplification du système centrifuge

Ce système, hérité des ingénieurs anglais¹ et mis en place dès le milieu du XVIII^e siècle, consistait à déplacer vers l'aval la morphologie fluviale de l'estuaire (Fleury, 1998) (Fig. 50). En somme, il s'agissait de réguler le courant de flot par l'aval. Pour mieux comprendre cette technique, il est nécessaire d'exposer les caractéristiques majeures de l'estuaire. En période d'étiage, l'estuaire peut être qualifié d'hypersynchrone de Saint-Nazaire à La Maréchale. Cela signifie que l'effet du rétrécissement d'aval en amont de la section transversale est supérieur à l'effet de dissipation de l'énergie par l'écoulement. L'amplitude de la marée augmente donc de l'aval vers l'amont (Sanchez, 1992 ; Verger, 2009). Dans la section allant de La Maréchale à Basse-Indre, l'estuaire est synchrone. Autrement dit un équilibre existe entre l'effet du rétrécissement et celui de la dissipation de l'énergie par frottement sur les fonds, et l'amplitude de la marée est constante dans cette portion de l'estuaire. Puis, en amont de Nantes, l'estuaire devient hyposynchrone : l'amplitude de la marée décroît dans l'estuaire (CSEEL, 1984).

Ces caractéristiques morphologiques et hydrosédimentaires, bien qu'elles aient été considérablement modifiées par les aménagements effectués au cours des trois derniers siècles, existaient et étaient déjà connues au XVIII^e siècle. L'ingénieur Magin avait ainsi décrit l'effet du resserrement des rives d'un cours d'eau :

« ... la nature nous a indiqué l'usage qu'on peut faire des épics ; elle nous montre constamment que dans les endroits où il y a des rochers qui s'avancent dans les rivières, il s'y trouve toujours une plus grande profondeur qu'ailleurs et cette profondeur est proportionnée à la vitesse du courant et à la surface que représente le rocher ; il résulte donc que toutes (les) fois où la nature n'a pas mis de ces sortes d'accidents, il faut y suppléer dans le besoin par des rochers artificiels que je nomme épics ; c'est à l'ingénieur à mesurer leurs dimensions... »²

Cet ingénieur de la Marine s'est donc appliqué à rétrécir la largeur des estuaires de la Gironde, de la Seine et de la Loire durant la seconde moitié du XVIII^e siècle (Fleury, 1998). Dans l'estuaire de la Loire, les travaux ont consisté à construire près de 2 km de digues submersibles – levées de terre arasées à hauteur d'un mètre au-dessus de la ligne d'étiage – et une première série d'épîs disposés perpendiculairement au fleuve. De même, plusieurs barrages ont définitivement coupé les bras secondaires de l'estuaire. Ainsi, ce sont près de 1200 ha qui, dès la moitié du XVIII^e siècle, ont été mis hors d'atteinte du fleuve (Fleury, 1998). Malgré des problèmes d'ensablement, conséquence de l'implantation des équipements

¹ Allain Y-M. *et al.*, 2006, « La gestion des estuaires dans une approche communautaire », Ministère des transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer ; Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, p. 68.

² Magrin, 1762, cité dans D. Fleury, 1998, « Des estuaires fabriqués », in *Les estuaires français. Évolution naturelle et artificielle*, Actes de colloques – 22, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, HydrOsystemes et Ifremer, pp. 9-19.

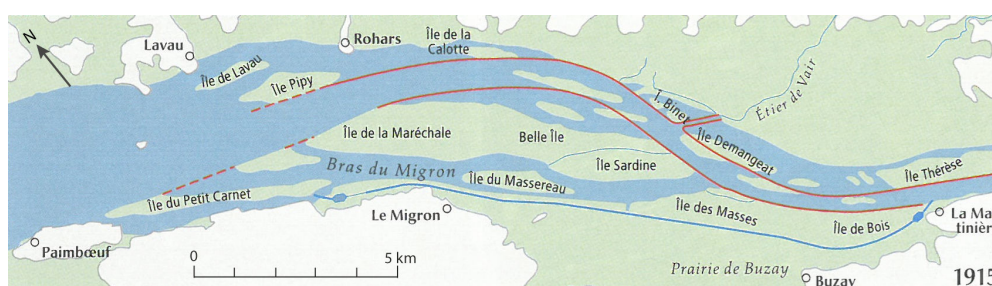
recommandés par l'ingénieur Magin, ses successeurs ont poursuivi les travaux d'endiguement de l'estuaire, accentuant les problèmes d'ensablement.

Le soutien aux ingénieurs, jusqu'alors indéfectible, a commencé à s'étioler. Au sein du corps des divergences sont également nées sur les techniques à mettre en œuvre. C'est ainsi avec beaucoup de difficulté que l'ingénieur des Ponts et Chaussées Lechalas a défendu sa nouvelle théorie de l'aménagement des fleuves qui venait contredire celle de ses prédécesseurs. Ce dernier prônait effectivement un système dit « centripète » qui visait à faciliter l'entrée du courant de flot dans l'estuaire pour donner en retour de la puissance au courant de jusant. Cette théorie trop incertaine car jamais encore expérimentée a d'abord été refusée par le Conseil Général Ponts et Chaussées. Le canal de la Martinière, longeant la rive sud, a donc été mis en service en 1892 pour améliorer l'accessibilité du port de Nantes, mais contre l'avis des ingénieurs de l'époque. Au même moment, un ingénieur allemand avait exposé les résultats positifs apportés par ce système centripète expérimenté dans le port de Brême. Cet équipement a finalement été approuvé en 1913 et le façonnage des rives et du lit du fleuve a continué de progresser tout au long du XX^e siècle pour répondre aux exigences du nouveau système (CSEEL, 1984 ; Fleury, 1998).

2. 1900-1950 : le faux abandon de la Loire par les ingénieurs

Malgré une longue période qualifiée de « vide » par S. Temam (Temam, 2012), la première moitié du XX^e siècle n'est pas pour autant synonyme d'absence d'interventions techniques de la part des ingénieurs. Certes l'abandon relatif de la navigation commerciale au profit du transport ferroviaire entre les deux guerres a adouci les velléités des aménageurs. Néanmoins, l'endiguement des rives du fleuve, la disparition de centaines d'hectares de prés salés et de vasières ainsi que les creusements réguliers du lit du fleuve se sont poursuivis à un rythme soutenu.

La carte 33 décrit la morphologie d'une section de l'estuaire entre Nantes et Saint-Nazaire en 1915. On y voit les conséquences des endiguements réalisés au siècle précédent : Belle île, l'île Sardine et l'île de la Maréchale ont été réunies, l'île des Masses et l'île de Bois ont été rattachées à la rive sud. En rouge apparaît le tracé du chenal actuel de navigation, décidé en 1913. Ces endiguements se sont poursuivis tout au long de la première moitié du XX^e siècle et il ne restait plus que 22 îles en 1950, contre 53 au début du XVIII^e siècle.



Carte 33 : Rives de l'estuaire de la Loire entre Paimboeuf et La Martinière. Trait rouge : actuel tracé du chenal. *Source : d'après R. Ghirardi et F., Verger, 2009.*

Ces modifications de largeur du chenal ont été couplées de modifications de sa profondeur par le biais de dragages conséquents. L'extraction de 120 millions de m³ de sédiments effectués entre 1903 et 1973 de Donges à Saint-Nazaire ainsi que d'environ 70 millions de m³ de 1910 à 1976 en amont de Nantes ont contribué à façonner ces nouvelles profondeurs. Les profils suivants, l'un établi pour 1900 et l'autre pour 1954, attestent cette évolution.

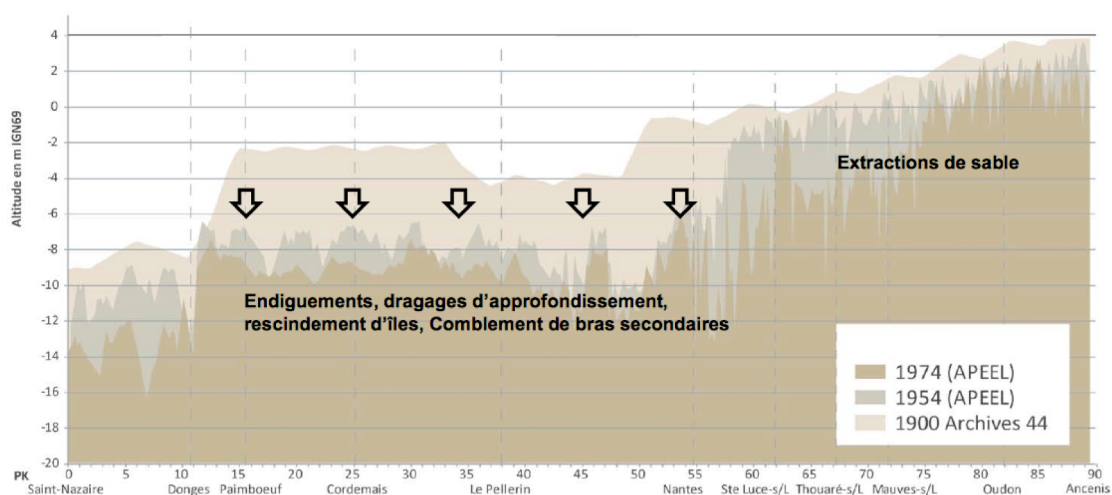


Figure 51 : Évolution de la profondeur du lit de l'estuaire de la Loire : 1900-1974

Source : GIP Loire Estuaire, 2013

Entre Saint-Nazaire et Donges, l'abaissement de la profondeur du lit du fleuve de 2 à 4 m est principalement dû à la construction de digues, aux dragages d'approfondissement et aux remblais. Entre Donges et Nantes, les approfondissements de l'ordre de 6 m sont également imputables aux endiguements, aux dragages d'approfondissement ainsi qu'au comblement des bras secondaires.

Cette évolution de la géométrie de l'estuaire, incitant le courant de flot à remonter sans entraves dans l'estuaire, a eu plusieurs conséquences :

- la remontée de la marée et la progression du front de salinité,
- la modification de la rugosité des fonds,
- l'augmentation des matières en suspension et par conséquent le grossissement et la remontée du bouchon vaseux³.

Ces conséquences hydrosédimentaires, et notamment l'évolution du bouchon vaseux, ont été signalées par les ingénieurs de l'époque sans toutefois freiner le développement de l'estuaire. Cette époque peut ainsi être associée à une sorte de période tampon préparant le

³ Bouchon vaseux : zone à concentration élevée en matières en suspension, particulière aux estuaires. La localisation de cette zone n'est pas stable, elle évolue au gré des conditions hydrogéographiques (débits, cycle de marée...) (Allain *et al.*, 2006).

développement du « tout-portuaire » qui allait se mettre en place au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale.

3. 1950-1990 : un intérêt renouvelé pour l'estuaire de la Loire à travers le « tout-portuaire » ou le nouveau « terrain de jeu » des ingénieurs

a. 1950-1980 : la course au gigantisme

Au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale, les préoccupations sont à la reconstruction de l'économie du pays et glissent rapidement vers des objectifs dits « modernes » pour l'estuaire de la Loire : il faut contrôler les crues, produire de l'énergie, intensifier le commerce portuaire (Hamm *et al.*, 1998). Plusieurs créations de sites portuaires sont alors entreprises dans le but de rationaliser l'utilisation de l'estuaire et d'élargir ses domaines d'activités. En 1966, les différents ports de l'estuaire sont réunis en un seul établissement public - le Port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire - afin d'améliorer la visibilité de l'activité portuaire et d'en affirmer l'importance à l'échelle de la façade atlantique. Quatre ans plus tard, le port de Donges est créé. À partir de 1971, les choses s'accroissent et le terminal agroalimentaire de Montoir-de-Bretagne s'agrandit⁴.

Mais le Port Autonome de Nantes-Saint-Nazaire ne s'est pas « contenté » d'augmenter sa capacité d'accueil et d'élargir la palette de ses services pour devenir peu à peu le plus grand port généraliste de la façade atlantique. Il a également conservé sa première spécialité de construction de paquebots, héritée des années 1880, développé un savoir-faire remarquable et une reconnaissance internationale dans ce domaine à forte plus-value et haute technicité. Ce sont des chantiers navals de Saint-Nazaire que sont sortis quatre des sept supertankers jamais construits : en deux ans, de 1975 à 1977, ont été inaugurés le *Bellamy* d'une capacité d'environ 630 000 tonnes, le *Pierre Guillaumat* d'une capacité comparable et le *Batillus*, supertanker géant, mais aussi plus grosse construction flottante jamais réalisée⁵. Les années 1960 et 1970 sont donc caractéristiques d'une véritable course vers le gigantisme indissociable à l'époque de la notion de modernité.

Deux facteurs ont contribué à soutenir ce rythme de développement : l'accélération de l'équipement de l'aval de l'estuaire d'une part, l'encadrement politique et législatif de cette évolution d'autre part. Dès les années 1940, décision avait été prise de transférer le chenal de navigation de la rive sud à la rive nord, dont la vocation industrielle ne faisait plus de doute. S'en sont suivis des creusements et recreusements successifs du chenal. En vingt-sept ans, la profondeur du chenal entre Donges et Saint-Nazaire a plus que doublé, passant de 5,50 m en 1953 à 13,50 m à partir de 1980 (CSEEL, 1984). Les années 1970 et 1980 ont également connu une forte intensification d'extraction d'agrégats en amont de Nantes (Fattal *et al.*, 1999). Ces grands travaux ont ainsi permis de multiplier par près de 17 le trafic de marchandises, passant de 75 tonnes par heure en 1960 à 250 tonnes par heure en 2000⁶.

⁴ Site internet du Grand Port Maritime de Nantes-Saint-Nazaire : <http://www.nantes.port.fr/decouvrir-lactivite-portuaire/histoire-du-port>, consulté le 30/01/2014

⁵ Conférence-croisière sur l'histoire d'aménagement de la Loire de Saint-Nazaire à Nantes, menée par Jean-Pierre Gouret et organisée par Bretagne Vivante, septembre 2011.

⁶ Site internet du Grand Port Maritime de Nantes-Saint-Nazaire : <http://www.nantes.port.fr/decouvrir-lactivite-portuaire/histoire-du-port>, consulté le 30/01/2014

Ils ont été accompagnés dès le début des années 1960 de deux mesures majeures pour la Basse-Loire : la politique des métropoles d'équilibre datant de 1963 et la loi de 1965 sur les Ports autonomes qui visait à redéfinir la stratégie portuaire française (Fattal *et al.*, 1999). Ils ont également permis au Conseil Général des Ponts et Chaussées de réaffirmer le rôle incontournable de « ses ingénieurs » dans leur réalisation. Il est intéressant de noter à ce propos l'évolution des enseignements de l'École Nationale des Ponts et Chaussées entre 1957 et 1971. Pour l'année 1957-58, les enseignements liés aux travaux maritimes apparaissent en troisième et donc dernière année. Ils représentent 25 leçons et se répartissent en quatre domaines : (1) phénomènes marins généraux, (2) régime et travaux de défense côtière, (3) accès portuaires, (4) ouvrages et équipements portuaires⁷. Les questions portuaires sont donc déjà présentes dans l'enseignement des futurs ingénieurs dans les années 1950, mais elles se sont considérablement développées dans les décennies suivantes. Ainsi, le programme d'enseignement de l'année 1971-72 accorde une place bien plus large aux questions portuaires qui sont abordées tout au long des trois années d'étude du futur ingénieur. Dès la première année, le cours sur les travaux maritimes occupe 12 demi-journées : 2 demi-journées sont consacrées au travail dans un port maritime et 10 demi-journées se concentrent sur des travaux d'application réalisés en petits groupes et au sein même de l'École. Les quatre domaines précités se retrouvent dans les heures d'enseignement, mais les intitulés des cours portant sur le milieu marin ont évolué : y sont désormais enseignées des « notions de météorologie », des « notions d'océanographie » ainsi que des « notions sur les courants de marée et sur la houle ». Le cours sur les accès portuaires a été intégré au cours intitulé « ports maritimes » et remplacé par un cours sur la conception des navires. Cette période d'enseignement spécialisé est couronnée en deuxième année par un stage de deux mois sur le terrain, et en troisième année par l'élaboration d'un projet d'ouvrages d'art ou de travaux hydrauliques⁸. Cette évolution montre bien la place croissante que prennent les structures portuaires dans les préoccupations d'aménagement du territoire et de développement économique du pays, d'une part, et la vision techniciste des estuaires développée au sein de l'École d'autre part, associée à la consécration du tout-portuaire jusqu'à la fin des années 1980. C'est en effet au cours de cette décennie que des contestations sociales empreintes de revendications écologiques vont commencer à prendre une ampleur suffisante pour remettre en question l'intervention des ingénieurs et leur conception de la modernité.

b. 1980-1990 : la fin du règne du tout-portuaire défendu par les ingénieurs ?

Dans sa thèse portant sur « les stratégies de gestion du risque inondation, ouvrages d'art et ingénieurs, en Loire nivernaise depuis le XVIII^e siècle », S. Temam présente J. Chapon, ayant enseigné le cours de Travaux maritimes à l'ENPC durant toute la décennie 1970, comme le « *dernier ingénieur de tradition Ponts et Chaussées* » (Temam, 2012, p. 20). Jean Chapon a en effet proposé un programme d'aménagement de la vallée de la Loire afin de remédier aux crues dévastatrices qui ont notamment sévi en novembre 1980. La problématique n'est pas exactement la même que pour la portion estuarienne de la Loire, mais

⁷ Archives de l'ENPC : programme d'enseignement de l'année 1957-58

⁸ Archives de l'ENPC : programme d'enseignement de l'année 1971-72

elle renseigne néanmoins sur les solutions préconisées à l'époque par un ingénieur des Ponts et Chaussées. Si ce dernier présente son programme comme « *un aménagement intégré⁹ comportant trois volets : un aménagement hydraulique, la protection et la mise en valeur des richesses naturelles et l'organisation de l'espace* » (Chapon, 1989, p. 6), l'aménagement dont il est question reste néanmoins largement axé sur les équipements hydrauliques à mettre en place, à savoir plusieurs barrages écrêteurs permettant de protéger la population contre les inondations et de rehausser le niveau d'étiage de la Loire. Pour défendre son point de vue, l'ingénieur offre des arguments quelque peu binaires :

« Si aucun équipement d'une certaine importance n'était réalisé, les « excès » des cours d'eau subsisteraient avec leur intensité naturelle » (Chapon, 1989, p. 4)

« Il serait certes possible de limiter le développement des irrigations, ne serait-ce qu'en ne leur accordant aucune aide sur fonds publics ; il serait même possible de considérer comme inévitable que la production agricole baisse de temps en temps, lorsque la ressource en eau serait insuffisante pour irriguer [...] » (Chapon, 1989, p.4)

« Il serait possible d'envisager l'arrêt des centrales nucléaires si l'étiage est trop sévère pour que leur fonctionnement se fasse de façon sûre [...] mais peut-on raisonnablement envisager que les populations dont les habitations ou les lieux de travail sont établis en zone inondable aillent loger ou travailler ailleurs [...] ? » (Chapon, 1989, p. 5)

En somme, l'ingénieur Chapon ne propose qu'un choix restreint consistant à accepter les ouvrages recommandés ou renoncer finalement au développement de la vallée de la Loire. Ces extraits, certes succincts mais non totalement réducteurs, montrent une certaine difficulté à envisager une solution complexe qui dépasserait les critères de la modernité définie tout au long des quatre dernières décennies comme une course au gigantisme et indissociable de la réalisation de grands ouvrages. Mais malgré les crues meurtrières du début des années 1980 en Haute Loire - qui ont dans un premier temps fait accepter à la population la nécessité d'équiper la Loire de plusieurs barrages (Temam, 2012) – l'heure est au bilan des aménagements effectués jusqu'à présent dans le fleuve mais aussi dans l'estuaire, plus qu'à la poursuite aveugle de la réalisation de grands travaux supplémentaires.

Plusieurs arguments d'ordre écologique, social mais aussi économique sont mis en avant pour remettre en question cette vision techniciste de la modernité.

L'Association Communautaire de l'Estuaire de la Loire est créée en 1985 pour permettre une concertation entre les différents acteurs afin de remettre en question certaines décisions prises en petit comité de surcroît. L'une des grandes questions soulevées à l'époque a trait à la nécessité d'étendre la zone industrielle de Donges-Est (Miossec, 1999). En effet,

⁹ la citation respecte le soulignement des mots

les supertankers construits quelques années plus tôt seulement, ont déjà, en 1985, été démantelés : trop grands et trop coûteux, ils ne répondaient plus aux besoins du moment¹⁰. Le chômage frappe également les chantiers navals de Saint-Nazaire au début des années 1980 : l'absence de commandes oblige à redéfinir les objectifs de production.

Par ailleurs, les conséquences hydrosédimentaires néfastes des aménagements entrepris au cours du siècle précédent, pourtant décrites par plusieurs ingénieurs dès le milieu du XX^e siècle, n'ont fait qu'empirer. Le bief fluvio-maritime¹¹ atteint le point kilométrique 95 en 1984 (Nantes étant située au PK52) (CSEEL, 1984). Le niveau des basses-mers s'est abaissé de 0,60 m à Nantes durant la décennie 1980. Ces modifications ont accentué la progression du front de salinité vers l'amont, la nature des sédiments situés au fond du lit et la turbidité de l'estuaire. Ainsi le bouchon vaseux qui atteignait les portes amont de la ville de Nantes en 1973, remontait en 1991 jusqu'à l'aval d'Oudon, progressant ainsi de près de 30 km, pour un débit d'étiage d'environ 200 m³/s. Il n'était expulsé à l'aval qu'en période de grande crue au débit supérieur à 4000 m³/s, ce qui est cinq fois supérieur au débit moyen de la Loire¹². Enfin, les rejets polluants des complexes industrialo-portuaires sont venus se fixer en particulier dans les vases qui constituent un milieu privilégié pour conserver les métaux lourds (Hamm, 1998).

L'ensemble de ces modifications a entraîné des problèmes écologiques aigus. Progressivement les superficies des estrans et des vasières ont globalement diminué. La pollution de l'eau de même que sa turbidité croissante ont engendré une forte réduction des populations piscicoles. En 1993, la pêche du saumon de Loire a par exemple été interdite car l'espèce était devenue en grand danger d'extinction (Schulé, 2003). Outre les conséquences écologiques que cela suppose, l'impact sur la pêche est aussi à prendre en compte, lorsqu'on sait les fonctions de nourricerie, de refuge et de reproduction que constituent les estuaires. La remontée toujours plus en amont du front de salinité a aussi eu un impact sur l'alimentation en eau potable de Nantes, obligeant la ville à remonter en amont ses prises d'eau dans le fleuve, et sur l'irrigation des champs bordant l'estuaire. De même la turbidité croissante de l'eau et l'extension de propagation du bouchon vaseux ont entraîné des complications pour le fonctionnement industriel des sites. Ainsi, comme l'indiquent P. Fattal et T. Guineberteau :

« Sans que les motivations initiales soient nécessairement d'ordre environnemental – et ce fut même parfois totalement secondaire – tous les territoires qui ont été créés ou qui sont en voie d'émergence sur l'estuaire cherchent actuellement à prendre en compte la donne environnementale, et notamment la question de l'eau » (Fattal et al., 1999, p. 145)

Autrement dit, les populations riveraines et les différents usagers de l'estuaire ont souhaité se réapproprier les berges de l'estuaire : tous ne se retrouvaient plus dans la logique du tout-portuaire. À la fin des années 1980, c'est donc une autre vision de l'estuaire qui s'est

¹⁰ Conférence-croisière sur l'histoire d'aménagement de la Loire de Saint-Nazaire à Nantes, menée par Jean-Pierre Gouret et organisée par Bretagne Vivante, septembre 2011.

¹¹ Limite extrême de la remontée de la marée dynamique, c'est-à-dire la pénétration de l'eau de mer pendant le flot refoule l'eau douce vers l'amont jusqu'au point à partir duquel on retrouve un courant fluvial dirigé vers l'aval. <http://hmf.enseeiht.fr>

¹² Lettre du GIP Loire Estuaire, n°11, novembre 2009

progressivement mise en place : une vision globale soutenant des objectifs beaucoup plus larges qu'auparavant, qui ont nécessité de mieux connaître le fonctionnement de l'estuaire.

4. Le tournant des années 1990 ou la renaissance des vasières et le rôle inattendu des ingénieurs du génie civil.

a. Un besoin fondamental de comprendre le fonctionnement de l'estuaire

Dès le mois de mars 1980, le Conseil d'Administration du Port Autonome de Nantes Saint-Nazaire (PANSN) avait décidé de créer un Comité Scientifique pour l'Environnement de l'Estuaire de la Loire (CSEEL) car le constat était là : le fonctionnement de l'estuaire de la Loire, très complexe, était mal connu. Il était impossible de mesurer et d'attribuer les effets à tel ou tel aménagement. C'est dans ce contexte qu'a été lancé en 1995 le premier Plan Loire, porté par l'agence de l'eau. En cinq ans, le plan devait proposer une modélisation prospective de la dynamique estuarienne. Pour ce faire, une Cellule de Mesures et de Bilan – devenue par la suite le Groupement d'Intérêt Public (GIP) Loire Estuaire - a été créée en 1998 et plusieurs campagnes de mesures et d'acquisition de données ont été lancées. Le deuxième Plan Loire (2000-2006) a donc été en mesure de procéder à une remise à plat des objectifs. Mettant en avant la rupture avec les pratiques passées associées à une vision exclusivement technique de l'avenir de l'estuaire, le fascicule « Objectifs », produit en 2006, des études prospectives aval indique clairement la nouvelle orientation prise : « *un nouvel équilibre pour l'estuaire de la Loire : vers un autre modèle de développement* », l'objectif général étant de rééquilibrer les fonctions économiques, urbaines et environnementales de l'estuaire ainsi que de mettre en valeur les aménités offertes par le milieu estuarien¹³. La seconde phase de travail a consisté à étudier les solutions permettant de remédier aux problèmes récurrents mentionnés *supra* en répondant aux objectifs fixés. Enfin, la dernière étape devait aider l'ensemble des acteurs concernés à prendre une décision.

Deux solutions ont donc été étudiées : un scénario dit de « déconnexion » et un scénario dit « morphologique ».

b. Les vasières remportent la bataille face au barrage

Le scénario dit de « déconnexion » consiste en réalité à construire un barrage amovible, qui serait fermé à marée basse pour maintenir un certain niveau d'eau à Nantes, et ouvert à marée montante et haute pour permettre le passage des bateaux comme des poissons (Figure 52). Ceci permettrait par exemple de relever la ligne d'eau de basse mer dans l'agglomération nantaise. Mais à l'inverse, il provoquerait le piégeage du bouchon vaseux en aval de Nantes, ce qui aurait des incidences sur les potentialités écologiques des vasières, l'entretien des prairies et le transit piscicole (la traversée d'un bouchon vaseux étendu et amplifié ne serait alors pas possible pour un certain nombre de poissons). Par ailleurs, le trafic des navires rejoignant le port de Nantes serait finalement contraint par les marées, ce qui risquerait de fragiliser l'activité portuaire de la ville. Enfin, cet ouvrage complexe serait certes réalisable

¹³ GIP Loire Estuaire, 2006, *Etudes prospectives aval, tome 1 : Les objectifs : un nouvel équilibre pour l'estuaire de la Loire*, p. 15.

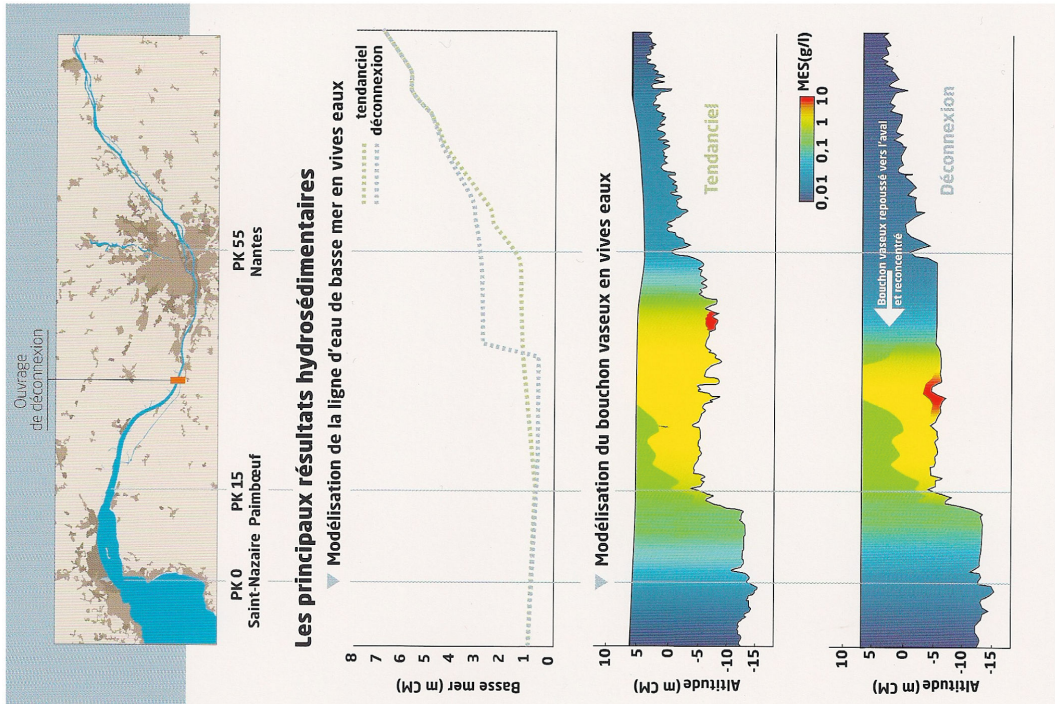
techniquement mais aurait un coût difficile à justifier au regard de la réponse « en demi-teinte » qu'il offre puisqu'il ne satisferait pas l'ensemble des objectifs fixés¹⁴.

Le choix final ayant consisté à éliminer ce scénario dit de « déconnexion » montre une réelle mais néanmoins difficile rupture avec les pratiques passées très interventionnistes. En effet, il n'a été abandonné qu'après avoir été poussé jusqu'au stade avancé de l'avant-projet, c'est-à-dire un rapport de faisabilité présentant un degré de détails assez important.

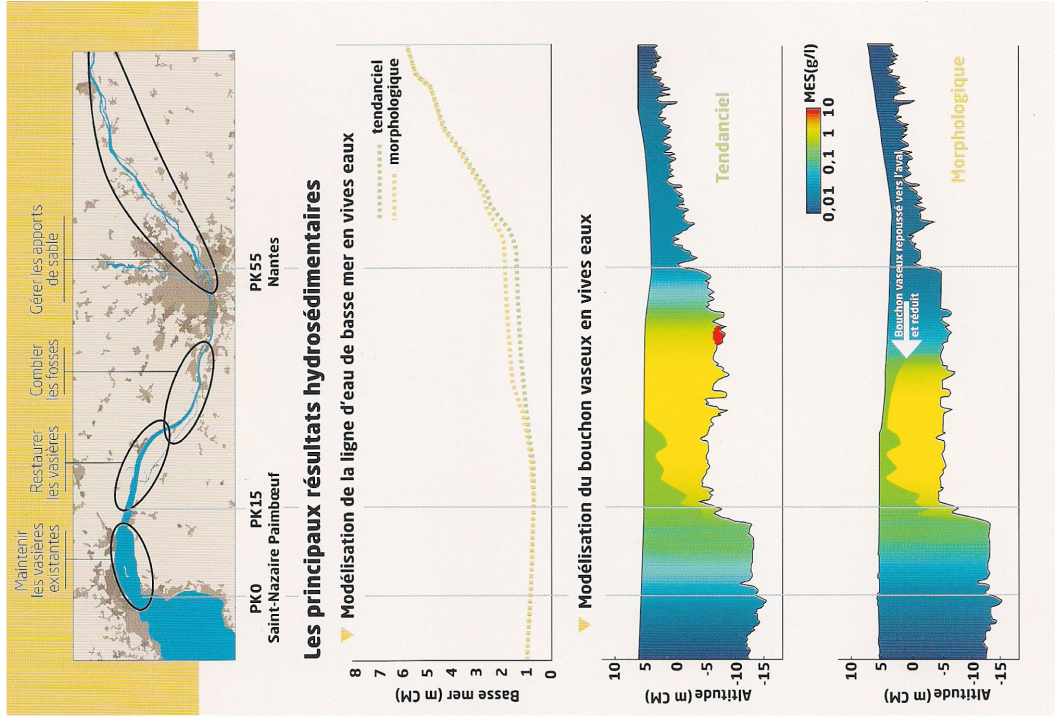
¹⁴ GIP Loire Estuaire, 2006, *Etudes prospectives aval, tome 2 : Les scénarios : une démarche progressive pour l'estuaire de la Loire*, p. 15.

Fiche 12 : pour un nouvel estuaire de la Loire : la victoire des vasières sur le barrage

Scénario de déconnexion : mise en oeuvre d'un barrage



Scénario morphologique : restauration des vasières



Le second scénario est « morphologique » (Figure 51) Celui-ci consiste à modifier la morphologie de l'estuaire pour restaurer des fonctionnalités en adéquation avec les usages existants. Ce scénario s'appuie entre autre sur la recréation de vasières. Cette technique, en laissant la marée montante s'engouffrer dans les chenaux naturels secondaires, permettrait de ralentir le courant de flot. Ceci aurait un effet majeur sur la diminution du bouchon vaseux, puisque c'est lorsque le courant de flot est supérieur au courant de jusant que la masse turbide est piégée dans l'estuaire et seulement évacuée en cas de crue importante. De même la ligne des basses mers serait relevée de 40 à 60 cm. Par ailleurs les vasières sont désormais reconnues pour leurs nombreuses fonctionnalités : elles sont une zone primordiale de nourricerie tant pour les oiseaux que pour les poissons. Le scénario « morphologique » permettrait donc d'atteindre les objectifs écologiques fixés, mais aussi des objectifs économiques et sociaux liés au meilleur développement de la pêche et au prélèvement d'eau à des fins agricoles et industrielles et d'alimentation en eau potable.

L'étude de ce scénario montre une évolution considérable dans la façon de penser la dynamique estuarienne et de se représenter ce qu'est finalement un estuaire. Un estuaire est avant tout une zone extraordinaire de communications multiples entre la mer, la terre et le fleuve. En ce sens il ne saurait être restreint à une « autoroute fluviale de croissance économique ». Si ce point de vue est aujourd'hui très largement partagé, il reste néanmoins récent et cette représentation de l'estuaire s'est construite progressivement. Alain Miossec, dans un article consacré aux estuaires français, mettait ainsi en exergue la dualité historique dont ils souffraient :

« [...] la recherche scientifique a pu montrer la richesse particulière de ces milieux constitués en espaces périphériques d'un fleuve que l'ingénieur avait toujours regardé comme une réserve de développement » (Miossec, 1999, p. 104).

Par ailleurs, l'adoption de ce second scénario met en relief une rupture cinglante avec les pratiques passées. Jusqu'alors, la résolution des problèmes hydrosédimentaires ou de qualité des eaux de l'estuaire de la Loire n'avait pu être envisagée autrement que par la construction d'ouvrages. Ainsi le savoir technique des ingénieurs ne pouvait s'exprimer qu'à travers un équipement supplémentaire qui soit visible, solide, et qui témoigne finalement d'un savoir-faire seul en mesure d'assurer la sécurité des populations et de leur permettre un accès au confort et à la modernité. Pourtant ce scénario exempt d'ouvrages a non seulement été retenu et approfondi dans le 3^{ème} Plan Loire 2006-2013, mais a requis de façon incontournable le savoir et savoir-faire des ingénieurs.

c. Quelle place pour les ingénieurs dans ce nouveau scénario ?

Sur la forme, l'organisation de l'étude de ce scénario montre que les ingénieurs ont été présents à tous les stades et dans tous les domaines. Le premier levier, relatif à la restauration des vasières, a été pris en charge par le bureau d'études Sogreah (devenu le Groupe Artélia depuis). Il a été divisé en trois lots : modélisation 3D, expérimentation des vasières, et restauration morphologique. Au sein de chaque lot, des ingénieurs étaient présents, et l'ensemble du projet était dirigé par un ingénieur des Ponts et Chaussées. Le bureau d'étude

s'est par ailleurs entouré des compétences du bureau d'études en écologie Ouest Aménagements. Le second levier, relatif au comblement des fosses et à l'inversion de la pente du lit du fleuve entre Paimboeuf et Nantes, a été pris en charge par l'organisme néerlandais Deltares. Là encore, les ingénieurs étaient présents. L'ensemble des études a été coordonné par le GIP Loire Estuaire au sein duquel des ingénieurs formés en génie civil/hydraulique sont également présents. Enfin un comité international d'experts a évalué, orienté les études et apporté son approbation scientifique sur les calculs effectués pour la modélisation.

Sur le fond, cette nouvelle orientation du travail d'ingénierie maritime a généralement suscité un intérêt marqué, voir un réel enthousiasme. Luc Hamm, ingénieur des Ponts et Chaussées, est sans doute le premier ingénieur en France à avoir relevé le défi de cette nouvelle tâche. Voici un extrait de son entretien lorsque la question lui était posée de savoir si un ingénieur en hydraulique pouvait se mettre au service d'un projet écologiste :

« Oui, évidemment ! Si c'est de l'hydraulique il n'y a pas de problème ! Que ce soit pour le passage des bateaux ou des poissons, je m'adapte ! Donc après avoir conçu des chenaux de navigation pour les bateaux, on concevait des passes pour les poissons et des filandres pour les vasières... Le travail en concertation était très intéressant, car si je pouvais dire comment recréer ces filandres, les écologues étaient là pour me dire où il fallait les recréer. Et dans le cadre de la restauration/redynamisation des vasières de la Loire, j'ai signé en 2004 mon premier projet où il n'y avait pas de projet portuaire, pas de construction ! Voilà, c'est tout un parcours : je ne travaille plus dans le port, je fais des aménagements écologiques ! »

Ce changement de projet ne signifie donc pas une mise à l'écart des ingénieurs hydrauliciens, mais plutôt une nouvelle application de leur savoir et savoir-faire. Cette évolution a abouti à un nouveau découpage des compétences : auparavant, l'ingénieur hydraulicien résolvait seul une question ou un problème d'aménagement. Il était donc concepteur, réalisateur et contrôleur des travaux. Dans le cas du projet de restauration des vasières de la Loire, il est co-concepteur notamment avec les écologues, réalisateur et co-contrôleur avec d'autres scientifiques des travaux réalisés, au travers des divers suivis (biologiques, chimiques, sédimentologiques etc.) effectués. Une des conditions de cette nouvelle application tient à la bonne définition des objectifs à remplir. Les entretiens réalisés auprès des ingénieurs et autres scientifiques du projet ont d'ailleurs montré l'importance de ce travail de définition des objectifs, effectué lors du deuxième Plan Loire entre 2000 et 2006. En effet, c'est seulement lorsque les objectifs sont clairement définis et partagés par l'ensemble des parties prenantes, que les ingénieurs peuvent proposer des solutions modélisées prenant en compte plusieurs modalités et décrire, dans la mesure du possible, les effets attendus des travaux réalisés. Ceci confirme les propos tenus dès 1998 par L. Hamm et J. Viguier¹⁵ - également ingénieur chez Sogreah :

¹⁵ Hamm L., Viguier J., 1998, « Les aménagements modifiant le fonctionnement des estuaires », in *Les estuaires français ; Évolution naturelle et artificielle*, Actes de colloques – 22, Éditions IFREMER, pp. 20-28.

« Les objectifs doivent d'abord être clairement définis non seulement pour l'aménageur [ou l'ingénieur] mais également par les collectivités touchées par le projet et par l'État, ceci dans un cadre général en amont du projet. À partir de ces objectifs, les techniciens (scientifiques et ingénieurs) peuvent alors travailler dans une approche pluridisciplinaire qui est maintenant reconnue comme indispensable. Le travail de l'Apeel [Association de protection de l'environnement de l'estuaire de la Loire] sur la Loire est un exemple à suivre dans cette voie. »

Le travail de définition des objectifs de gestion de la Loire a par ailleurs permis un élargissement parallèle de la vision de l'estuaire développée par les ingénieurs et l'ensemble des acteurs impliqués. La vision de l'estuaire qu'avaient les ingénieurs du XIX^e siècle n'est plus du tout la même que celle qu'ils développent aujourd'hui. Le schéma suivant (Fig. 54) reprend cette évolution en la combinant aux échelles spatiales correspondantes.

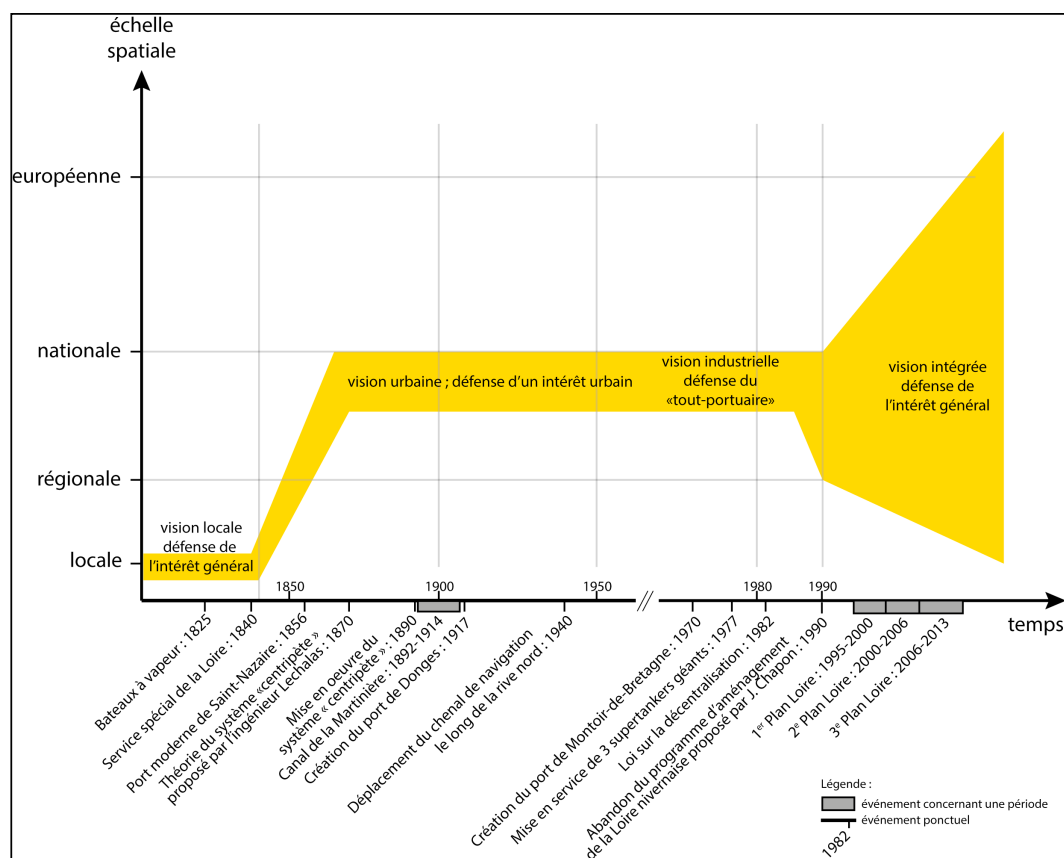


Figure 54 : Évolution depuis le début du XIX^e siècle de la vision de l'estuaire selon les ingénieurs et de l'intérêt défendu, en fonction des échelles spatiales associées.
Sources : Fleury, 1998 ; Hamm *et al.*, 1998 ; Miossec, 1999 ; Fattal *et al.*, 1999 ; Le Marec, 2000 ; Temam, 2012, site GIP Loire Estuaire, dernière consultation mars 2014. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2014

Avant 1840, les objectifs des équipements implantés servaient un intérêt général et devaient profiter aussi bien aux agriculteurs qu'aux petits ports de pêche ou au commerce portuaire de Nantes. L'échelle spatiale concernée était locale bien que le port de Nantes ait eu une importance internationale au XVIII^e siècle et figurât parmi les grands ports de la traite négrière. L'attribution d'une échelle locale pour cette période reste en effet pertinente dans la mesure où le développement du commerce portuaire de Nantes ne faisait pas ombrage aux pratiques agricoles locales et au petit cabotage. De 1840 à 1950, l'intérêt urbain domine. Il a rapidement remplacé l'intérêt général décrit *supra* et n'a cessé d'être renforcé pour aboutir dès 1950 et jusqu'en 1990 à une vision de l'estuaire associée au « tout-portuaire ». De même que pour la période précédente, l'échelle spatiale associée est nationale : l'État montre une volonté de planifier l'aménagement de l'estuaire à des fins industrialo-commerciales, pensées à l'échelle du pays. La dernière décennie de cette période a néanmoins été marquée par la loi de 1982 sur la décentralisation, mettant en avant le rôle fort des régions. Selon P. Fattal et T. Guineberteau, ces années correspondent à une remise en question du système développé jusqu'à présent :

« La décentralisation a modifié les rapports entre l'État et les pouvoirs locaux ; les mutations sociales et économiques conduisent à douter de la pertinence du « tout-portuaire » ; la vision européenne pousse à identifier l'estuaire comme un écosystème d'intérêt suprarégional, voire supranational » (Fattal, et al., 1999, p. 146-147).

Ainsi, à partir des années 1990, les acteurs locaux vont peu à peu se réappropriier les décisions d'aménagement et les orienter. Le poids des directives européennes relatives à la protection de l'environnement va fortement contribuer à l'élaboration d'une vision désormais intégrée de l'estuaire. Cette nouvelle donne environnementale, structurée par l'Europe, s'est ressentie de façon très concrète chez les ingénieurs rencontrés :

« Il est évident que cette nouvelle orientation des projets vient « d'en haut ». C'est systématique. Je peux vous dire que même si je viens avec toutes mes bonnes idées, le client me dira que ça n'est pas la législation. J'ai rarement vu un client prendre des initiatives et devancer la législation. »

Cette vision intégrée a permis de retrouver la défense d'un intérêt général, c'est-à-dire la défense de l'ensemble des intérêts économiques, sociaux et environnementaux. L'intérêt général défendu à la fin du XX^e siècle est donc bien plus large et complexe que l'intérêt général mentionné pour la première moitié du XIX^e siècle.

Bien que l'Europe ait adopté près de 200 actes législatifs fixant des normes écologiques entre 1972 et 1990, et que la Directive Oiseaux visant à protéger les oiseaux sauvages date de 1979, ce n'est qu'à partir de la décennie 1990 que la réglementation sur l'environnement s'officialise réellement. En 1992, le traité de Maastricht propose une politique de

l'environnement pour l'Europe. La même année, la protection et la gestion des espaces naturels et des espèces de faune et de flore à valeur patrimoniale est promue par la Directive Habitats (cf chapitre 6). L'évolution de la législation européenne en matière d'environnement a finalement soutenu cette nouvelle orientation du rôle des ingénieurs du génie civil vers une forme d'ingénierie écologique en développant chez eux une vision dite intégrée de la gestion de l'estuaire, si bien qu'il est possible de retrouver cette tendance ailleurs en Europe, dans l'estuaire de la Crouch river en Angleterre par exemple ou encore sur la rive nord de l'estuaire de la Seine.

B. L'ingénierie écologique : une nouvelle voie qui prend de l'ampleur chez les ingénieurs du génie civil

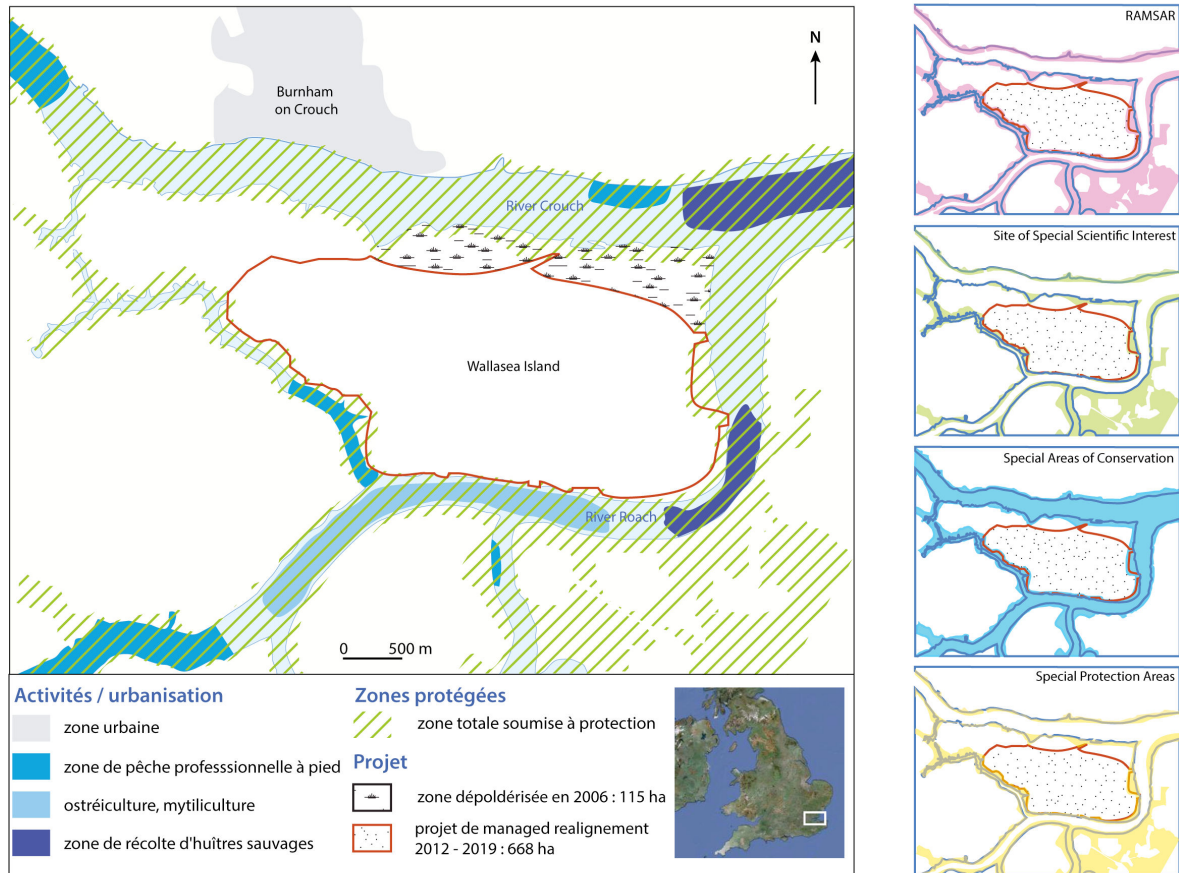
1. Wallasea Island : une île « verte » façonnée par les ingénieurs du génie civil

Le cas de Wallasea Island est particulièrement intéressant car il s'inscrit dans un projet long de près de vingt ans et permet ainsi de mesurer l'ampleur du développement de l'ingénierie écologique. Cette île de l'Essex d'une superficie totale de plus de 600 hectares a été isolée des rivières Crouch et Roach par des endiguements effectués dès le XIV^e siècle ayant réuni plusieurs petites îles dispersées en chapelet dans l'estuaire. Au fil des siècles, les terres poldérisées se sont affaissées, conférant aujourd'hui à Wallasea une topographie en forme de cuvette : le schorre développé tout autour de l'île est aujourd'hui surélevé d'environ 2,5 mètres par rapport à son centre (ABPmer, 2009).

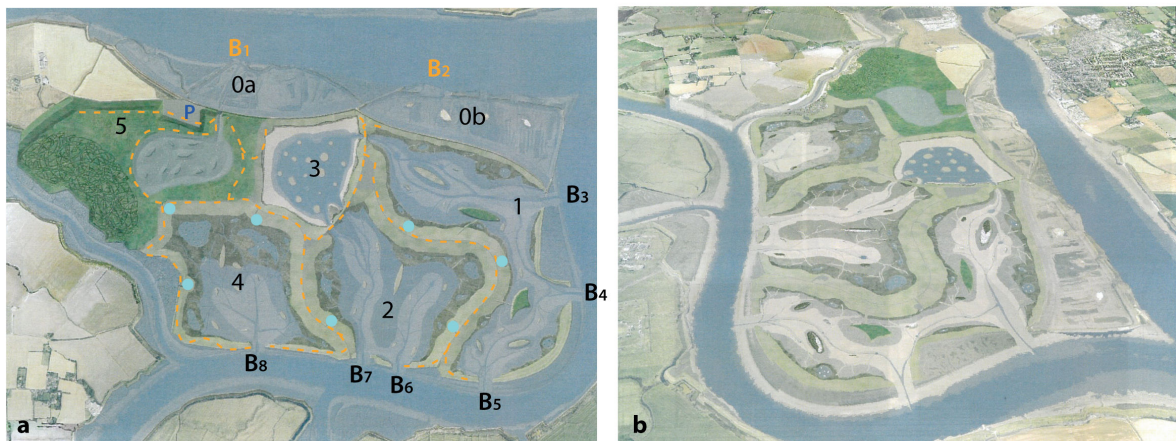
En 2000, la question du coût d'entretien des digues a été posée par *Environment Agency*. En effet, l'île abritait des terres agricoles d'un rendement relativement faible et n'accueillait aucun habitant. L'élévation du niveau marin allait nécessiter par ailleurs un rehaussement des digues, ce qui rendait d'autant plus difficile le maintien d'une agriculture à faible rendement. À cette question s'ajoutait celle de la compensation écologique engendrée par l'expansion du port de Sheerness situé dans l'estuaire de Medway, plus au sud, qui avait détruit plusieurs hectares de schorre et de vasière. Or, si la majeure partie de Wallasea ne fait pas l'objet d'une quelconque protection environnementale, ses contours, ainsi que les rivières Crouch et Roach entre autres, le sont d'ores et déjà, à titres national, européen et international : sites RAMSAR, Site of Special Scientific Interest, Special Areas of Conservation, Special Protection Areas (Carte 34). Wallasea offrait donc plusieurs avantages pour expérimenter une opération de *managed realignment*, et notamment la perspective de pouvoir étendre à l'ensemble de l'île ces zones protégées. C'est ainsi qu'en 2006, 115 hectares ont été dépoldérisés par création de cinq brèches d'une longueur cumulée de 540 m avec deux objectifs principaux : compenser les pertes écologiques liées à l'expansion du port plus en aval ; augmenter la défense contre le risque de submersion marine par création d'une zone intertidale. Forts du succès de l'opération réalisée en 2006 (accrétion importante et rapide, reconquête rapide et totale du schorre en 2010 et donc protection optimisée de la partie nord de l'île) la RSPB, DEFRA, *Environment Agency*, *English Nature* - principaux acteurs du projet - ont voulu étendre l'expérience à l'ensemble de la surface insulaire. En effet, les

digues protégeant l'île sont en mauvais état et leur durée de vie estimée à moins de 5 ans (ABPmer, 2009). Par conséquent, en l'état actuel des choses, le site fait l'objet d'un risque élevé de rupture accidentelle de digue. Cette éventualité aurait de lourdes conséquences sur le fonctionnement de l'estuaire, puisque la topographie en cuvette de l'île absorberait plus de 11 millions de mètres cube d'eau à chaque marée. Outre des problèmes de navigation liés à une baisse trop importante du niveau d'eau dans la Crouch River, la force d'une telle quantité d'eau aurait très certainement raison de la digue sud de l'île, bordant la rivière Roach qui elle-même abrite plusieurs exploitations ostréicoles et piscicoles. Ainsi, décision a été prise de remodeler entièrement l'île d'ici 2019 afin de restaurer faune et flore estuarienne d'une part, et de protéger les activités et les biens d'autre part.

Fiche 13 : Wallasea Island, une île "verte" façonnée par les ingénieurs



Carte 34 : situation et principaux enjeux de Wallasea Island. *Source : RSPB, 2009. Réalisation : S. Gueben-Venière, 2013*



Figures 55 a et b : vue d'artiste du projet (fin 2019). a : à marée haute ; b : à marée basse. Les cellules 1, 2 et 4 (resp. 176, 142 et 130 ha) auront une fonction principale de nourricerie pour les oiseaux et de frayère pour les poissons. La cellule 3 (67 ha) abritera principalement des niochirs et des invertébrés. La cellule 5 (153 ha) abritera une lagune salée, les reptiles, une zone autorisée à la promenade des chiens et un parking. L'altitude maximale (cellule 5) sera de 6 m ; l'altitude minimale (cellules 1, 2 et 4) de -1,4 m. Les cellules 0a et 0b ont déjà été rouvertes en 2006, comme indiqué sur la carte de situation. Les brèches B1 et B2 ont été créées en 2007. Les brèches B3 à B8 auront une largeur de 100 m pour accepter des vitesses d'écoulement des eaux allant de 0,4 m/s à 0,9 m/s. *Source : d'après RSPB, 2009.*

Parti de la seule nécessité de compenser écologiquement les zones réquisitionnées pour l'expansion portuaire, ce projet s'est peu à peu transformé en une étude bien plus vaste au sein de laquelle les ingénieurs hydrauliciens ont un rôle clé. Au milieu des années 2000, le bureau d'études en ingénierie maritime ABPmer a remporté l'appel d'offre lancé par la RSPB, propriétaire de l'île, qui consistait à transformer cette île en une réserve naturelle aux milieux variés, allant des vasières aux prés salés et à la terre ferme. Les ingénieurs d'ABPmer ont alors travaillé en étroite collaboration avec écologues, biologistes, sédimentologues et ornithologues pour imaginer un aménagement de l'île en cinq cellules indépendantes les unes des autres accueillant chacune des milieux et habitats spécifiques. Pour les ingénieurs, ce travail implique une haute précision dans la conception et la réalisation du projet pour aboutir à l'étagement décidé. Chaque cellule doit en effet répondre aux spécificités topographiques, salines et de submersion des habitats voulus, et l'ensemble doit répondre aux objectifs de sécurité définis en amont (cf. légende figures 55 a et b). Après reprofilage des cinq cellules, le site pourra ainsi accueillir un maximum de 2,1 millions de mètres cube d'eau à chaque marée et assurer une fonction de réservoir de stockage d'eau sans modifier le système hydrologique de l'estuaire.

Dix ans plus tôt, des ingénieurs français avaient déjà été sollicités pour un travail similaire, de moins grande ampleur cependant, pour la restauration des vasières de la rive nord de l'estuaire de la Seine.

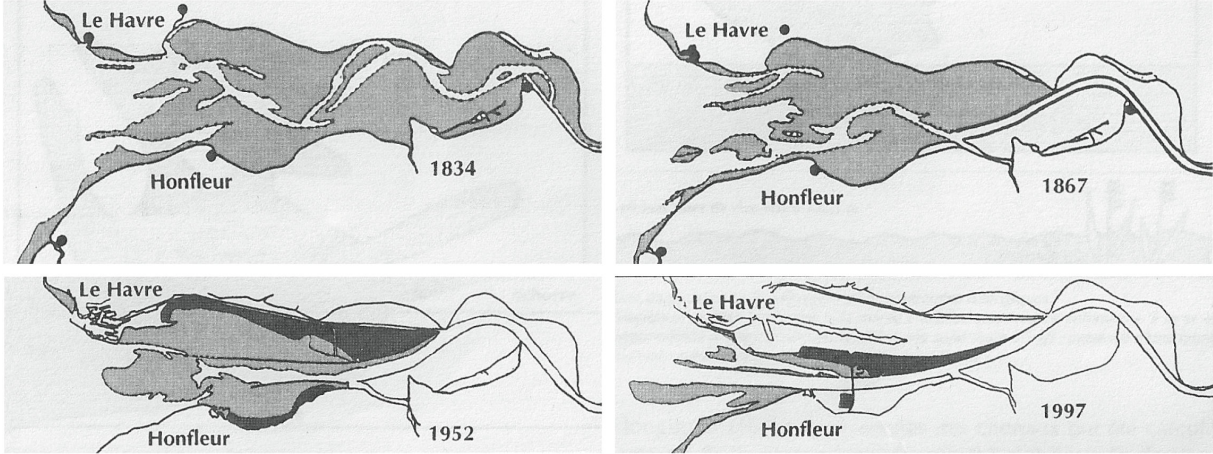
2. La restauration de vasières nord de l'estuaire de la Seine en 1990 : le dialogue entre écologistes et ingénieurs fait naître une nouvelle vocation pour les ingénieurs

a. Exposition succincte des enjeux

Dans le cas des mesures compensatoires négociées à l'occasion de la construction du pont de Normandie, des vasières ont été recrées en 1990 sur la rive nord de l'estuaire de la Seine, au niveau des piles soutenant le pont à haubans. Il s'agissait d'une première tant pour les écologues que pour les ingénieurs du génie civil. Luc Hamm, ingénieur chez Sogreah (devenu aujourd'hui le Groupe Artélia) explique comment est née cette nouvelle collaboration prometteuse pour l'avenir :

« En 1990, alors que les plans du pont de Normandie étaient approuvés et que les travaux avaient commencé, le client revient vers nous et nous dit : « Il y a un problème avec les écologistes. Ils prétendent que la construction du pont va détruire les vasières nord de l'estuaire de la Seine, situées au pied des piles du pont. Est-ce que vous pouvez m'aider ? »

Fiche 14 : 1990 : restauration des vasières nord de l'estuaire de la Seine, naissance d'une vocation pour les ingénieurs du génie civil

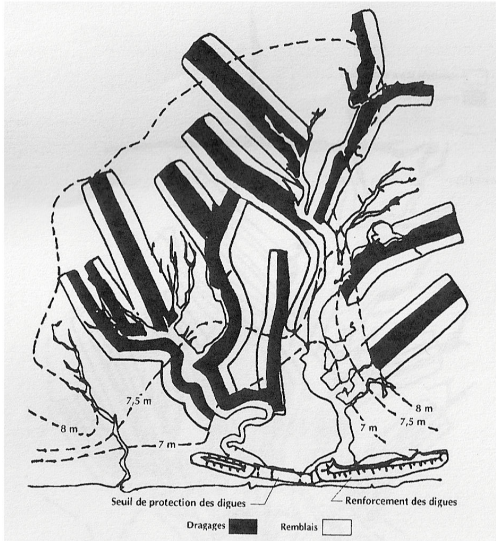


↑
Figures 56 a (1834), b (1867), c (1952) et d (1997) :
 Evolution simplifiée de la géométrie de l'estuaire de la Seine. Les zones gris clair correspondent aux vasières, les zones d'un gris plus foncé, aux herbues. Les surfaces de vasières ont très fortement diminué en un siècle et demi.
 Source : Bessineton, 1998.

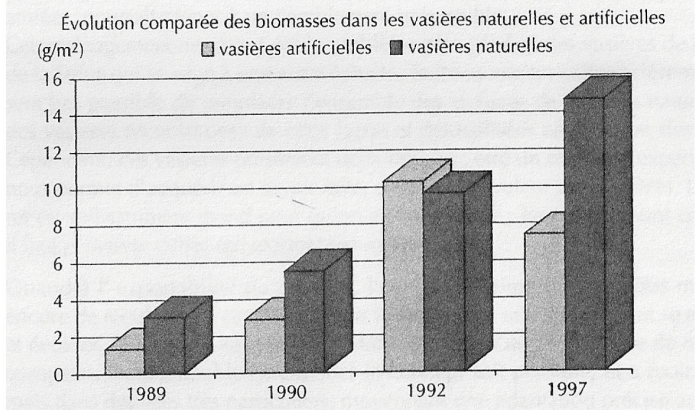


→
Photo 55 :
 Vue aérienne du pont de Normandie
 Vue orientée sud-nord. Au pied des piles nord du pont, entre la terre ferme et la digue basse nord, se trouvent les vasières recrées par compensation écologique
 Source : blog : etoilium.free.fr/REPORTAGES_EXE/FLEUVES/

↓
Figure 57 : plan de masse des travaux réalisés, indiquant les dragages et remblais effectués.
 Source : Bessineton, 1998



↓
Figure 58 : comparaison du développement des biomasses dans les vasières naturelles et artificielles. Les vasières naturelles ayant servi de base de comparaison se trouvent un peu plus en aval du site.
 Source : Bessineton, 1998. Données GEMEL (1989) 1992) et cellule de suivi du littoral haut-normand, 1997.



Les écologistes voulaient en effet réestuariser les vasières en régression. Or la construction du pont allait engendrer une progression de la continentalisation des rives nord de la Seine et contribuer à faire disparaître les conditions nécessaires au développement des vasières. Il fallait donc trouver une solution pour que l'eau revienne dans le site.

Après avoir convaincu les écologistes qu'une intervention souterraine consistant à restaurer la circulation de la marée sur le site par le biais de tuyaux serait tout à fait inefficace, les ingénieurs de Sogreah ont proposé une autre solution tout à fait novatrice : la restauration des filandres existantes et la création de filandres artificielles pour augmenter la communication avec la Seine, via le maintien d'un seuil, de façon à inonder les nouvelles vasières à chaque marée (Fig. 57).

Là encore, l'intervention des ingénieurs a été indispensable pour calculer très précisément le degré des pentes à reprofiler. En effet, l'inclinaison plus ou moins forte des pentes longitudinales et transversales des chenaux a une conséquence sur les vitesses de courant et ainsi sur l'envasement ou l'érosion des vasières. Il a été calculé qu'en dessous de 0,5 m/s, les vasières auraient tendance à se sédimenter. Au-delà de 0,7 m/s, les vasières subiraient au contraire une trop forte érosion pour permettre leur pérennité. De même, le dimensionnement du seuil, large de 100 m, a été calculé pour maintenir un équilibre hydrosédimentaire satisfaisant (Bessineton, 1998).

Huit ans après la réalisation des travaux, le suivi hydrosédimentaire a montré une tendance des filandres à se combler. Cependant, la part des cycles naturels saisonniers et pluriannuels de sédimentation et d'érosion des chenaux a été difficile à distinguer de celle des travaux réalisés. En ce qui concerne la recolonisation de la végétation, le bilan est plutôt positif en ce sens que le schorre a progressé de 2 à 4 m sur les parties latérales des chenaux et ce dès 1995. L'objectif après cette date était plutôt de limiter une trop forte progression du schorre qui aurait pu se faire au détriment des vasières. Sur le plan de la faune benthique, les résultats ont montré une croissance très rapide dès les premiers mois, mais une régression au bout de quelques années.

b. Un bilan mitigé mais stimulant

La reconstitution de vasières artificielles par creusement de filandres pose aujourd'hui question. Après un recul de quelques années et des suivis scientifiques réguliers effectués dans les domaines hydrosédimentaire, floristique et faunistique, les résultats de la recréation des vasières nord de l'estuaire de la Seine peuvent être qualifiés, au premier abord, de contrastés. La figure 58 offre une comparaison chiffrée de l'évolution des biomasses dans les vasières naturelles et artificielles. Il ressort qu'en 1992, soit deux ans après la recréation des vasières, la biomasse présente dans les vasières artificielles se situe légèrement au-dessus de 10 g/m² alors que celle présente dans les vasières naturellement créées, se trouve légèrement en-dessous de ce seuil. Pourtant, en 1997, la tendance s'est largement inversée et la biomasse produite par les vasières naturelles atteint près de 16 g/m², soit près du double de la biomasse produite par les vasières artificielles. Ainsi, à moyen terme le bilan d'une telle opération reste

discutable. Enfin, le coût de cette opération, de près d'un million d'euros pour la création *in fine* de deux systèmes de filandres, incite à la réflexion :

« Cet aménagement ne résout pas le problème plus général des vasières de l'estuaire de la Seine qui se situe à une autre échelle. Techniquement et financièrement, il ne sera pas possible de remplacer l'ensemble des surfaces de vasières naturelles par des vasières reconstituées de cette façon et délocalisées en fonction des besoins. [...] Les travaux sont coûteux et il faut préserver celles qui existent naturellement » (Bessineton, 1998, p. 121)

Le point de vue de cet écologue, impliqué dans le comité de concertation de l'étude, rejoint celui de Luc Hamm, lorsque ce dernier tire les conclusions des opérations de récréation et de restauration de vasières :

« Le caractère innovant [de ces opérations] a cependant incité à suffisamment de modestie pour prévoir dès maintenant de possibles aménagements correctifs qui seront à mettre éventuellement en œuvre en fonction des résultats du suivi de terrain. » (Hamm *et al.*, 2002, p. 540)

Pourtant, malgré les réserves émises, l'enthousiasme pour cette nouvelle application du métier d'ingénieur de génie civil n'a été que croissant. Les limites financières et techniques de tels projets peuvent en effet être repoussées. Financièrement d'abord, avec une part attribuée au volet environnemental de plus en plus importante. La comparaison des budgets alloués à la compensation écologique de la construction du pont de Normandie en 1990 et de celle du projet *Port 2000* - projet d'extension du port du Havre achevée en 2006 et dont l'étude sera présentée *infra* - illustre parfaitement cette évolution. La part des mesures compensatoires à la construction du pont de Normandie représentait à peine 0,8% du budget global des travaux. Dix ans plus tard, cette même part a représenté 3,5% du budget global de *Port 2000* (Bessineton, 1998 ; Lacave, 2006). Techniquement ensuite, car ces projets innovants relèvent encore de l'expérimentation et les techniques mises en œuvre n'aspirent qu'à être affinées pour être plus efficaces.

Les trois cas d'étude présentés ont montré la façon dont les ingénieurs du génie civil ont été progressivement impliqués dans la restauration écologique des milieux estuariens. Le savoir-faire des ingénieurs hydrauliciens est effectivement incontournable dans le dimensionnement de la géométrie des vasières nécessitant une précision à la hauteur de leur grande sensibilité aux variations topographiques, de salinité et de submersion. Cet aspect du travail a été mentionné à plusieurs reprises en entretien :

« Il faut être très précis et même plus précis que pour le dimensionnement d'ouvrages hydrauliques classiques. C'est-à-dire qu'au final si la hauteur d'une digue fait 3 ou 4 cm de plus ou de moins, personne n'aura à redire et les travaux seront acceptés et validés. Mais une différence de 3 ou 4 cm peut aboutir à un échec quand il

s'agit de reconstituer des vasières ! C'est donc un travail de précision qui est assez intéressant¹⁶ »

Ces projets expérimentaux pourraient faire figure d'exception, et rester en marge de l'activité des bureaux d'études en ingénierie maritime. Pourtant il semblerait que cette nouvelle application du métier d'ingénieur du génie civil soit prise très au sérieux et soit le reflet d'une réelle tendance plus que d'un effet de mode. C'est effectivement ce que montre l'évolution de l'organisation interne de grands bureaux d'études tels le Groupe Artélia ou ABPmer en Angleterre.

C. Un besoin des ingénieurs d'affirmer leur nouveau rôle

1. Au sein même des bureaux d'étude

a. L'ingénierie écologique, l'avenir de l'ingénierie maritime chez Artélia...

Sogreah est née en 1917 d'une entreprise de houille blanche tirant partie de l'énergie produite par les cours d'eau. Progressivement la société a élargi ses compétences en se lançant, entre autres domaines, dans l'exploration de l'ingénierie maritime dès les années 1930. L'iconographie choisie pour illustrer la thématique littorale dans le livre *Sogreah. La passion d'un métier...* publié en 2008 et retraçant un parcours de presque cent ans, est très révélatrice de l'ampleur des évolutions survenues dans ce domaine. Aucun ouvrage portuaire, ni même de pont ou encore de plages aménagées. Mais les vasières nord de l'estuaire de la Seine, couronnées par le titre *Littoral* !

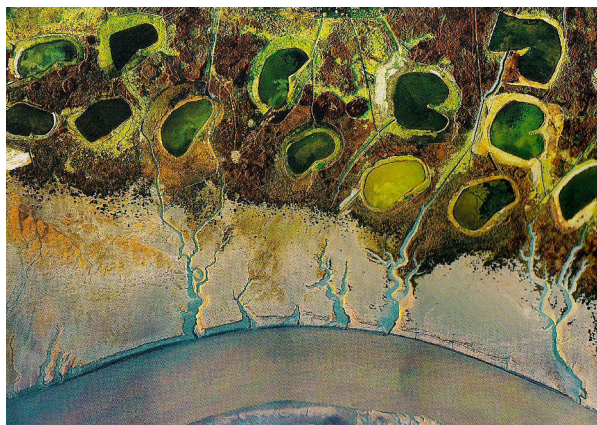


Photo 56 : photo d'introduction au chapitre « Littoral » de l'ouvrage *Sogreah, La passion d'un métier...*, publié en 2008. Vasière nord de l'estuaire de la Seine, 2004.

Les efforts de Sogreah ont été particulièrement marqués dans l'étude des courants marins via leur reconstitution en laboratoire au sein d'un premier grand modèle à marée mis

¹⁶ Extrait d'entretien réalisé auprès d'un ingénieur

au point dans les années 1940¹⁷. Durant les trois décennies suivantes, l'entreprise a mené plusieurs centaines d'études portuaires lui conférant une reconnaissance internationale. À l'amélioration constante des modélisations physiques effectuées en laboratoire, s'est ajoutée une modélisation numérique complémentaire, devenue aujourd'hui un outil de travail incontournable. À la fin des années 1980, Sogreah a mis en place un pôle Recherche et Développement qui a débuté par son implication, pour le domaine maritime, dans le programme européen MAST (Marine Science & Technology) rassemblant de nombreux scientifiques spécialistes des questions de morphologie côtière. Ce pôle Recherche et Développement représente aujourd'hui 3% du chiffre d'affaire annuel de l'entreprise. Le domaine maritime du pôle s'est doté à la fin des années 2000 d'un axe sur la restauration écologique des estuaires et des zones humides. Ce dernier est présenté par le groupe comme « *une nécessité [et] l'une des spécialités d'Artelia qui mobilise pour cela ses compétences en hydrodynamique et en sédimentologie, son expérience des vasières et des zones humides, ses outils de modélisation mathématique et physique, pour étudier, expliquer et mettre en œuvre des techniques très avancées de restauration et de maintien durable des écosystèmes littoraux* »¹⁸. L'investissement tant financier qu'humain pour cette nouvelle voie montre toute son importance. Voici le point de vue d'une universitaire, embauchée dans l'entreprise en 2008 et ayant suivi une formation initiale en biologie, complétée par un master en génie côtier, c'est-à-dire en génie civil appliqué au milieu littoral :

« J'ai terminé mon master par un stage que Sogreah m'avait proposé. Il s'agissait d'un stage de cinq mois dont l'objectif était de faire le bilan des connaissances acquises et des expériences européennes menées sur le thème de la restauration des écosystèmes côtiers. [...] C'est un thème auquel je n'aurais pas pensé seule : je n'avais en fait jamais entendu parler de ce sujet pendant mes études. Ce sujet de stage a en quelque sorte matérialisé au sein de l'entreprise le fait que les écosystèmes, estuariens notamment, étaient d'une importance cruciale et qu'il y aurait de plus en plus d'études à venir sur leur restauration. »

En parallèle de ces mises au point bibliographiques, l'entreprise a cherché à développer une modélisation de plus en plus fine des dynamiques hydrosédimentaires, mise au service d'un génie d'un nouveau genre : le génie écologique. L'adoption du système Telemac au cours des années 2000 a par exemple permis d'acquérir une modélisation dite « couplée hydrodynamique-agitation-évolution des fonds côtiers ». Comme l'indiquait L. Hamm en 2006, le modèle « *mériterait des développements permettant de coupler les évolutions hydrosédimentaires avec les connaissances et outils d'études sur la biologie marine et les écosystèmes estuariens* » (Hamm *et al.*, 2006, p. 39). Pour Artélia, l'ingénierie écologique dans le domaine littoral constitue bien un nouveau marché à développer plus qu'une niche sans avenir.

¹⁷ Sogreah Consultants, 2008, *Sogreah. La passion d'un métier...*, Chirat, 207 p.

¹⁸ http://www.arteliagroup.com/fr/system/files/publications/artelia_rapport_rd_fr_2012_maritime.pdf, dernière consultation : février 2014.

b. ... et chez ABPmer en Angleterre

De l'autre côté de la Manche, le même phénomène est observable chez *ABP marine environmental research* (ABPmer). Ce bureau d'ingénierie maritime créé dans les années 1950 développe depuis deux ans des conférences internationales spécialement dédiées aux écosystèmes côtiers et à leur restauration. La deuxième conférence, intitulée « *Coastal Habitat Creation. Are we delivering ?* »¹⁹ s'est tenue le 20 novembre 2013²⁰. Au programme, plusieurs universités et organismes tels RSPB, Defra ou Natural England ont présenté l'état des connaissances sur la diversité écologique des prés salés et l'ensemble des techniques mises en œuvre en Europe jusqu'à présent pour les restaurer ou les reconstituer. L'objectif de ces conférences est double pour ABPmer. Il s'agit pour l'entreprise d'afficher une présence active dans le domaine et de se positionner : ce bureau d'ingénierie côtière, initialement spécialisé dans le génie civil, a acquis suffisamment d'expérience pour être en mesure d'organiser une journée entière sur un thème qui pouvait paraître jusqu'à présent en marge de son activité. Par ailleurs, c'est un moyen de faire intervenir des conférenciers extérieurs à l'entreprise et par conséquent de faire circuler les connaissances et ouvrir le débat sur la façon d'approcher ce nouveau marché très prometteur.

2. Par la voie associative pour les polytechniciens

Une autre démarche, associative cette fois, illustre également l'importance du génie écologique aux yeux des ingénieurs, et en l'occurrence des Polytechniciens. L'association X-Environnement, créée en 1990 par d'anciens élèves de l'École, propose un état des connaissances dans le domaine de l'environnement. Le premier numéro de la revue des anciens élèves de l'École *La Jaune et la Rouge*, éditée à partir de 1994, a lancé le débat en proposant un article sur le thème de l'enseignement de l'environnement à l'X. Michel Camus, à l'époque Directeur de l'enseignement et de la recherche à l'École Polytechnique, avouait finalement à demi-mot l'absence d'un enseignement spécifique consacré à l'environnement, justifié par un emploi du temps de cours d'ores et déjà surchargé. L'association, qui comptait 450 membres en 2009, a donc voulu offrir une interface permettant aux anciens élèves de se tenir informés de l'évolution de la réflexion dans ce domaine. Pour ce faire des conférences suivies de débats sont organisées régulièrement et font appel à des intervenants variés provenant tant d'universités, que de l'INRA, du CEMAGREF, de l'ENS, de l'IFREMER ou encore d'entreprises privées telles Veolia Environnement. La question de l'environnement littoral et plus largement de la biodiversité et de la restauration des milieux a ainsi été traitée sous forme de conférences, de dossiers thématiques ou encore d'articles. Voici quelques exemples de conférences réalisées ces dernières années :

- Des écosystèmes dynamiques et changeants : les zones humides (G. Barnaud, 2001)
- Techniques de génie écologique : réhabilitation des milieux dégradés d'altitude (F. Dinger, 2001)

¹⁹ Création d'Habitats Côtiers. Que proposons-nous ?

²⁰ Le programme de cette journée figure parmi les annexes.

- De la « mise à part » au « vivre avec » : approche d'une histoire des concepts de la protection de la nature (J.-P. Raffin, 2001)
- Restauration de peuplements piscicoles et perturbés : exemple du système hydrographique de la Seine (P. Boet, 2001)
- Les conséquences de l'élévation du niveau de la mer sur les côtes basses à marée (F. Verger, 2002)

Certains de ces thèmes de conférences sont repris pour alimenter des micro-dossiers classés par rubriques. L'une des rubriques porte précisément sur « *les écosystèmes et leur gestion* », dont les écosystèmes marins et littoraux. Cet axe est régulièrement renouvelé par les conférence-débats organisées par l'association.

Au départ imposées par la législation européenne et nationale, les mesures compensatoires obtenues par les écologistes étaient considérées par les ingénieurs du génie civil, dans les années 1990, comme annexes à un projet de gestion, comme une démarche administrative supplémentaire à effectuer pour être en règle. Progressivement la concertation entre ingénieurs et scientifiques a permis d'entrevoir des solutions de gestion innovantes telles la restauration/création de vasières, dans lesquelles chacun – ingénieur, écologue, biologiste marin, ornithologue etc. - avait un rôle bien déterminé et indispensable. Ainsi, les ingénieurs du génie civil ont pu mettre leur savoir et savoir-faire technique au service non plus de la construction d'ouvrages au sens classique du terme, mais de la restauration d'écosystèmes littoraux. La création de nouveaux départements dédiés à l'ingénierie écologique dans les bureaux d'ingénierie maritime, l'organisation de conférences sur le thème par des ingénieurs du génie civil ou encore l'adhésion croissante d'anciens élèves de l'École Polytechnique à une association ouverte, entre autres, à ce nouveau marché, montrent une matérialisation concrète pour les ingénieurs du génie civil du tournant écologique et social précédemment décrit.

Ces marqueurs d'évolution témoignent d'une capacité des ingénieurs à dépasser la « crise environnementale » qui a caractérisé la fin du XX^e siècle en s'appropriant ces nouveaux objectifs de gestion pour imaginer, en concertation avec d'autres scientifiques, des solutions innovantes et intellectuellement stimulantes car complexes à concevoir et à mettre en œuvre.

II. Un renouvellement de la réflexion des ingénieurs sur la complexité, l'incertitude et la mobilité

Le développement de l'ingénierie écologique et l'intérêt marqué des ingénieurs du génie civil pour cette nouvelle branche témoignent plus largement d'un renouvellement de la réflexion des ingénieurs sur leur approche des problèmes de gestion du littoral. L'ingénierie écologique va en effet au-delà des « simples » compensations écologiques qui sont pratiquées depuis quelques années. Elle suppose une réflexion sur la complexité, intégrant la dimension environnementale dès l'amorce d'un projet de gestion du littoral. La notion de complexité a déjà été évoquée dans le chapitre 5 consacré à la façon dont les ingénieurs se représentent le littoral qu'ils aménagent. La seconde partie du chapitre présente et approfondit cette notion de complexité en s'appuyant sur l'ouvrage d'E. Morin, *Introduction à la pensée complexe*²¹ et expose plus précisément la mise en œuvre de cette pensée complexe comme fil conducteur d'un projet de gestion du littoral. Deux exemples seront traités pour illustrer ce propos : la réalisation de *Port 2000* au Havre et la réflexion, plus ou moins aboutie selon les pays, sur une nouvelle façon d'habiter le littoral prenant comme moteur de réflexion la mobilité du littoral, intrinsèque à la notion de complexité.

A. De la pensée simple et « mutilante » à la pensée complexe : le nouveau défi des ingénieurs en charge de la gestion côtière.

Depuis les premières tentatives de structuration de leur formation, les ingénieurs ont toujours eu vocation à servir la population et contribuer à son bien-être en réduisant les oppositions territoriales et sociales par le recours aux infrastructures et donc à l'équipement technique du territoire. Ce constat est valable tant pour les ingénieurs français que pour les ingénieurs anglais et néerlandais, avec sans doute une spécificité pour le cas néerlandais, liée aux enjeux de protection de la population contre les submersions marines et les inondations. Ce désir « d'être utile » est encore aujourd'hui très présent dans les discours prononcés en entretiens. C'est d'ailleurs la première réponse des ingénieurs rencontrés à la question : « *Pourquoi avez-vous choisi d'être ingénieur ? Quelles étaient vos motivations ?* »

En revanche, les théories, les courants de pensées ou les concepts mobilisés pour y parvenir ont beaucoup évolué. De façon générale, la technique – permise par le développement des connaissances en mathématiques, en physique et en mécanique – a toujours été présentée comme l'unique facteur de progrès social : les machines, en se substituant progressivement au travail manuel, allaient libérer les populations de durs labeurs. C'est par exemple pour cette raison que le saint-simonisme a eu tant d'échos chez les ingénieurs et en particulier chez les Polytechniciens. Ce courant de pensée a fortement marqué le XIX^e siècle « *en introduisant l'idée d'une planification d'ensemble de l'activité économique au nom de la compétence scientifique et technique* » (Picon, 2007, p. 113). La

²¹ Morin E., 2005, *Introduction à la pensée complexe*, Editions du Seuil, collection Points, 158 p.

doctrine saint-simoniste a mis sur le devant de la scène la technocratie poussant à une rationalisation extrême de la société. Or cette planification d'ensemble supposait nécessairement une simplification des choses jusqu'à l'obtention d'un modèle applicable partout, pour tout et pour tous, qui se substituait *in fine* à une nouvelle religion « éclairée » : « la société a besoin d'une « idée générale », d'un degré d'abstraction équivalent à l'idée de Dieu »²². Les sciences de l'ingénieur ont donc été profondément et durablement influencées par cette approche dite objective, plaçant la technique et le technicisme au cœur de leur réflexion. La réalisation de grands projets (chemin de fer, ponts, autoroutes, barrages) en est le couronnement et ces grandes infrastructures ont contribué à célébrer un véritable âge d'or des ingénieurs de 1850 à 1970²³, dont les objectifs, s'ils étaient toujours tournés vers l'amélioration des conditions de vie des populations, se sont de plus en plus détachés de la dimension subjective pourtant inhérente à la notion de territoire. Cette vision tronquée des choses résulte du paradigme de simplicité qui « soit sépare ce qui est lié (disjonction), soit unifie ce qui est divers (réduction) » (Morin, 2005, p. 79). Ainsi, selon E. Morin, « la cause profonde d'erreur n'est pas dans l'erreur de fait (fausse perception) ou l'erreur logique (incohérence), mais dans le mode d'organisation de notre savoir en système d'idées (théories, idéologies) » (Morin, 2005, p. 15). L'auteur condamne le principe de simplicité qui n'a que trop dominé notre culture pour aboutir à une vision matérialisée par des actions qualifiées de « mutilantes » (Morin, 2005, p. 23). La vision simplifiée du littoral et de sa gestion, dominante au cours des derniers siècles, en offre une bonne illustration : la pose d'épis, par exemple, a résolu - à court terme seulement - un problème d'érosion mal posé parce que systématiquement considéré comme local et donc simplifié à l'extrême.

Ainsi, la notion de complexité, longtemps ignorée et même combattue pour « les traits inquiétants du fouillis, de l'inextricable, du désordre, de l'ambiguïté, de l'incertitude... » qu'elle présente, revient depuis quelques années sur le devant de la scène (Morin, 2005, p. 21). Or, comme l'indiquait Y. Michaud en 2010, dans une conférence consacrée à la place de l'ingénieur dans la société, « l'idée d'un gouvernement d'ingénieurs d'inspiration saint-simonienne cadre mal avec un monde complexe, surtout humainement complexe »²⁴. En entretien, un ingénieur rencontré au Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable a particulièrement développé cette notion de complexité, en en faisant un critère central pour distinguer deux profils d'ingénieurs les « ingénieurs process » et les « ingénieurs systèmes » :

« Le rôle des [ingénieurs process] consiste à résoudre une équation : comment construire un pont d'un point A à un point B en déjouant les contraintes techniques et en respectant le budget alloué ? De l'autre côté, il y a une culture dans

²² Saint-Simon C.-H., 1966, *Le Nouveau Christianisme*, Tome 3, Editions Anthropos, Paris, p. 58, cité dans Muso P., 2007, « Saint-Simon et la pensée du réseau », in *Pour Mémoire*, n°2, p. 104.

²³ Conférence d'Yves Michaud « L'ingénieur et la société » du 14 janvier 2010, dans le cadre d'un cycle de conférences organisé par l'Université de Tous Les Savoirs : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine*.

²⁴ Conférence d'Yves Michaud « L'ingénieur et la société » du 14 janvier 2010, dans le cadre d'un cycle de conférences organisé par l'Université de Tous Les Savoirs : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine*.

laquelle je me reconnais plus et qui permet d'aborder des problèmes complexes. J'entends par complexes les multiples rétroactions qui nous dépassent, des choses dans lesquelles il y a à la fois du technique, et à la fois du social, du culturel etc. [...] Selon moi, le critère de distinction est là : [...] est-on convaincu que le monde est toujours plus complexe qu'on ne le croit ? Si on est convaincu de ça, en général, on apprend parce que dès que quelque chose nous surprend, on se réinterroge [...]. Si par contre on est convaincu que le monde fonctionne comme un problème de maths, on élimine tout un pan de réflexion et on risque fortement de ne pas se poser pas les bonnes questions ».

Ainsi, selon cet ingénieur l'approche des problèmes de gestion du littoral doit nécessairement être complexe, car elle permet de prendre en compte plusieurs points de vue, mais aussi des emboîtements d'échelles. Sans pour autant défendre une vision déterministe des choses, qui reviendrait à dire que la formation initiale détermine de façon irrémédiable l'approche d'un ingénieur dans sa façon de poser un problème de gestion du littoral, cet ingénieur a ressenti le besoin de clore sa formation initiale par un cursus universitaire en géographie pour être plus à même d'envisager la complexité du littoral :

« Ma formation en géographie m'a donné quelques éléments d'apprentissage qui ne se trouvent absolument pas dans la culture ingénieur : la géomorphologie par exemple - mais je pourrais aussi bien mentionner tous les aspects développés par la géographie humaine - on ne la retrouve pas ou pratiquement pas à l'ENTPE. J'ai été diplômé en 2001²⁵, alors peut-être que ça a changé depuis, mais je dis et je l'ai dit il n'y a pas si longtemps que ça dans les enceintes du ministère : parmi tous les gens qui sont chargés de la gestion du trait de côte, au sens ingénierie du terme, avec tout l'héritage que cela suppose, aucun n'a le minimum de rudiments de géomorphologie littorale que l'on apprend en première année de géographie à l'université. Pour moi, c'est quelque chose d'aberrant ».

Une approche complexe des choses est donc un exercice difficile qui demande une réorganisation profonde de la mise en application du savoir. Ainsi que l'explique E. Morin, relever le défi de la complexité ne signifie pas « reprendre l'ambition de la pensée simple qui était de contrôler et de maîtriser le réel. Il s'agit de s'exercer à une pensée capable de traiter avec le réel, de dialoguer avec lui, de négocier avec lui » (Morin, 2005, p. 10). Négocier avec le réel, c'est donc admettre mais aussi utiliser l'incertitude, les multiples interactions et rétroactions d'un phénomène, les contradictions qu'il met en exergue, l'articulation des connaissances en sciences « dures » comme en sciences humaines, acquises et à venir. Mais ces difficultés ne doivent pas masquer les avantages qu'offre une telle démarche. La réalisation de *Port 2000* en est une illustration particulièrement intéressante car elle montre

²⁵ Cet ingénieur est diplômé de l'ENGREF : École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts

comment la prise en compte de ces différents facteurs de complexité a permis de développer un management adaptatif dans lequel chaque acteur du projet a pu se reconnaître et s'impliquer pour formuler une solution satisfaisant le plus grand nombre.

B. *Port 2000* ou l'itinéraire d'un projet complexe

En 1995, lors d'une visite au Havre, le Président J. Chirac a déclaré *Port 2000* « projet national d'intérêt public ». Ces quelques mots, sans être suffisants, ont toutefois donné un élan incontestable au projet. En effet, les travaux envisagés sont gigantesques et leurs instigateurs ont dû justifier auprès de la Commission Européenne l'intérêt d'une telle extension portuaire (création à terme de 12 postes de chargement et déchargement à quai sur 4,2 km et d'importantes surfaces de terre-pleins pour le stockage des marchandises²⁶) nécessitant de surcroît l'utilisation d'étendues de vasières d'ores et déjà en régression d'environ 25 hectares par an à l'échelle de l'estuaire de la Seine²⁷. Le contexte initial n'était donc pas favorable à une artificialisation croissante du site : en avril 1997 l'estuaire de la Seine a fait l'objet d'une saisine de la Cour de Justice des Communautés Européennes pour manquement à la Directive Oiseaux avant de condamner l'État en 1999 (Allain *et al.*, 2006). Le projet *Port 2000* partait donc avec de lourds handicaps et des pressions tant européennes que locales, puisque l'ensemble des associations écologistes environnantes se montrait tout à fait opposé au développement du port. C'est ce qu'explique F. Lerat, ingénieur général du génie rural, des eaux et des forêts, impliqué dès le début du projet : « [...] *le contentieux avec l'Europe sur la mise en œuvre de la directive 79-409 sur les oiseaux et l'opportunité de mobiliser des financements européens nous ont obligés à prouver que la situation environnementale serait meilleure après qu'avant* »²⁸. Pour relever le défi, *Port 2000* a alors été envisagé dès le début de la réflexion de conception, non pas comme un simple chantier portuaire, mais comme un chantier complexe comportant trois volets majeurs et indissociables : les volets portuaire, de desserte et environnemental.

Ce projet a fait l'objet de nombreuses publications et il ne s'agit pas d'offrir ici une nouvelle synthèse de l'ensemble des opérations effectuées en dix ans. En revanche, deux points précis seront développés : d'une part les mesures compensatoires et d'accompagnement mises en œuvre, et la confirmation du nouveau rôle des ingénieurs de génie civil dans le dimensionnement de ces « équipements verts » ; d'autre part la façon concrète dont une réflexion complexe, menée dès les prémices du projet, peut être mise en œuvre par les ingénieurs.

²⁶ Lacave J.-M., 2006, « Enjeux du développement du conteneur au Port du Havre », in *Travaux, Le Havre, Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable*, n°828, pp. 19-22.

²⁷ Hamm L., Delouis A., Vieillard R., 2006, « Les études préliminaires de Port 2000. Hydraulique et sédimentologie », in *Travaux, Le Havre, Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable*, n°828, pp. 33-40.

²⁸ Lerat F., 2006, « Port 2000. Une opportunité pour la réhabilitation de l'estuaire de la Seine », in *Travaux, Le Havre, Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable*, n°828, pp. 41-45.

Fiche 15 : Port 2000 ou le succès d'un projet complexe

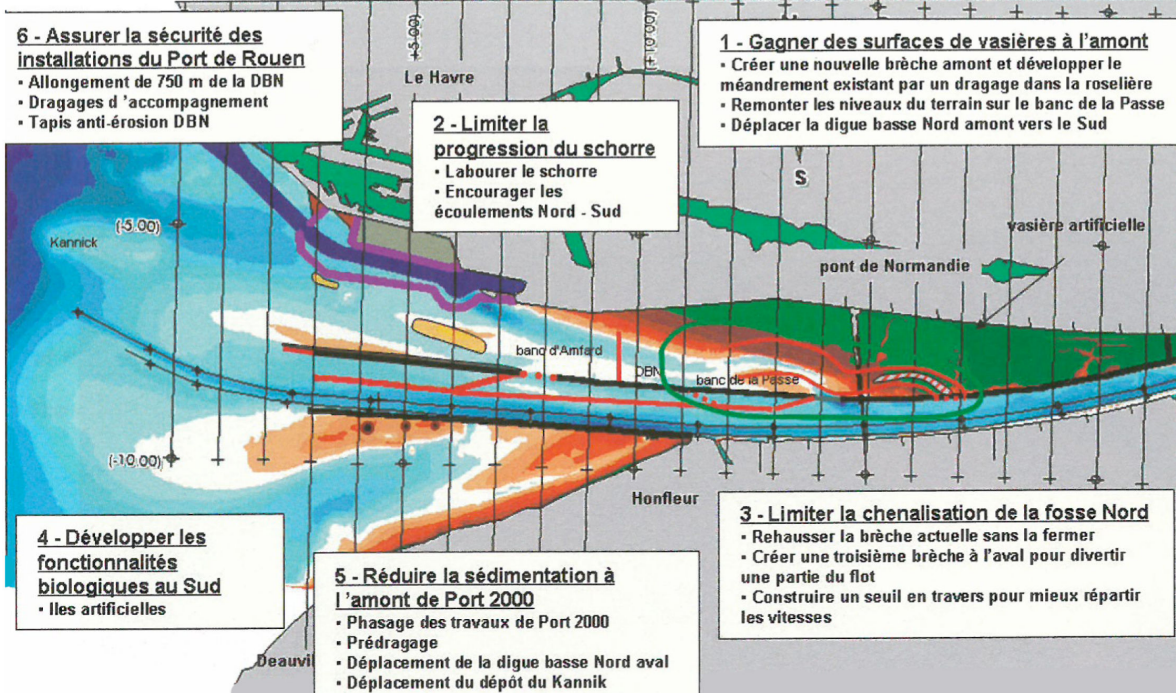


Figure 59 : Présentation et localisation des 6 principales mesures compensatoires et d'accompagnement prévues dans le projet Port 2000. *Source : Hamm et al., 2006*

Photo 57 : Tracé du chenal environnemental (en bleu) et des filandres à recréer ou à élargir (en vert).
Source : Poissonnier, 2006

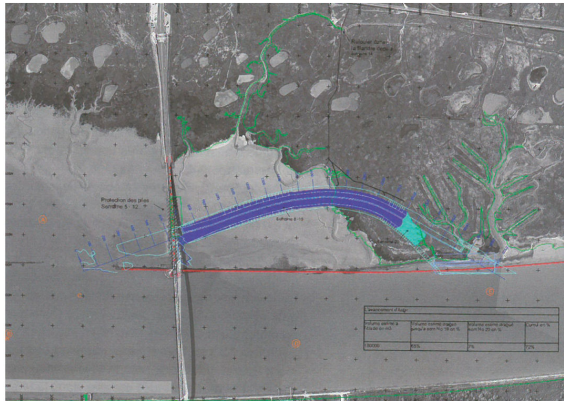


Photo 58 : vue aérienne de l'îlot du Ratier situé au large et en amont de l'extension portuaire.
Source : Debout et al., 2006



Photos 59 a, b, c et d : photos aériennes présentant l'évolution des travaux d'extension du port du Havre. Le phasage des travaux a été déterminé de façon à limiter les impacts environnementaux et respecter les mesures d'accompagnement préconisées.
Source : Journal Flash Infos n°5, 2008



1. Des mesures compensatoires guidées par des mesures dites « d'accompagnement »

a. Délocalisation d'un reposoir terrestre et création d'un reposoir marin, dédiés aux oiseaux

La première phase de travaux de *Port 2000* a consisté à recréer plus en amont de la zone portuaire un reposoir sur dune capable d'accueillir les oiseaux de la région ainsi que les oiseaux migrateurs. Pour établir une transition avec la zone initialement occupée par l'avifaune et destinée à l'extension portuaire, il fallait en effet que le nouveau reposoir soit opérationnel avant la destruction de l'ancien site et qu'il soit réalisé avant la période de nidification débutant officiellement au 1^{er} mars. Un espace de 45 ha a donc été entièrement remodelé entre octobre 2001 et février 2002 pour créer deux bassins - l'un immergé en permanence, l'autre alternativement couvert et découvert par la marée – et des zones hors d'eau recouvertes par plusieurs espèces végétales répondant aux conditions nécessaires à la nidification.

Parallèlement à cette première mesure, une concertation entre le Port Autonome du Havre et les associations environnementales, dont le Groupe Ornithologique Normand, a permis d'intégrer dans le budget alloué aux compensations environnementales (près de 46 millions d'euros), la création de 1000 m² d'îlots reposoirs dédiés aux oiseaux marins. L'emplacement ainsi que la forme à donner à ces îlots pour les protéger des courants estuariens et permettre la tranquillité nécessaire aux oiseaux, de même que la détermination des niveaux topographiques du reposoir terrestre à recréer, ont largement évolué lors des réunions de concertation. Les ingénieurs et les ornithologues ont ainsi pu exposer librement leurs objectifs et contraintes respectives. Les seconds avaient imaginé au départ une composition en trois îlots indépendants les uns des autres afin d'éviter la colonisation par une espèce dominante. Il s'est avéré que la complémentarité des modélisations numérique et physique, développées par les ingénieurs, a été particulièrement utile dans cette phase de conception. La modélisation numérique a permis de conclure qu'un seul îlot serait plus à même de résister aux conditions hydrodynamiques de l'estuaire. Par la suite, des vérifications effectuées en modèle réduit dans un canal à houle a montré une évolution satisfaisante de la plage intérieure, recommandée par les environnementalistes et initialement conçue sous forme d'enrochement par les ingénieurs. Cette forme de modélisation physique a également constitué un outil de communication efficace permettant à l'ensemble des acteurs concernés de mieux visualiser les choses.

Cette étape montre que la concertation entre ingénieurs et scientifiques a permis d'intégrer non plus seulement le temps court de la solution adoptée, mais également le moyen terme et donc la dynamique hydrosédimentaire naturelle du site (Photo 58). La réalisation de cet îlot s'est faite en plusieurs phases, permettant d'adapter le projet d'origine pour qu'il réponde le plus précisément possible aux objectifs fixés. De même une série de suivis scientifiques (comptage des espèces et des populations d'oiseaux, de poissons et mesure de la biomasse benthique) a complété la démarche et ce plusieurs années après la fin des travaux.

b. La recréation des vasières de la rive nord de l'estuaire

Enfin, la troisième et la plus vaste des mesures compensatoires mises en œuvre, tant par l'ampleur du projet que par le financement engagé (23 des 46 millions d'euros alloués) a consisté en la recréation de vasières sur la rive nord de l'estuaire, à proximité des vasières restaurées sous le pont en 1990. Cette opération s'est effectuée en quatre étapes, de l'été 2003 à l'automne 2005. La première étape avait pour objectif la création d'un soubassement de l'épi situé en aval du site. Les premiers signes de développement de la vasière ont permis de prolonger le chantier par une deuxième étape consistant à rehausser toute la longueur de l'épi (environ 500 m) et celle de la digue basse nord (près de 2000 m). La troisième étape a démarré à la fin de l'année 2004. Il s'est alors agi de creuser non plus des filandres mais un chenal dit « environnemental » afin de favoriser les échanges hydrosédimentaires avec les vasières (Photo 57).

Pour réaliser ces travaux, une attention toute particulière a été portée aux solutions techniques proposées par quatre bureaux d'étude. Un jury composé des principales parties prenantes a finalement choisi l'entreprise Sodranord, filiale du groupe néerlandais Van Oord, car celle-ci proposait d'acheminer à terre les matériaux dragués par pipes, évitant ainsi de perturber le milieu par la création de voies temporaires d'accès. De plus la société proposait de poser puis de déposer ces canalisations avant la période de nidification et après l'émancipation des jeunes oiseaux²⁹.

Le déroulement des réalisations de l'ensemble de ces mesures compensatoires met en exergue la recherche de solutions optimisées, dont les phases de conception ont été étudiées de façon concertée et dont les phases de réalisation ont été planifiées de façon souple afin d'adapter les solutions préconisées en fonction des vérifications réalisées au fur et à mesure de l'avancement des travaux. Comme l'expliquent trois ingénieurs en charge des études hydrosédimentaires du projet de restauration/recréation des vasières, « *tout ce travail d'études et de modélisation [a permis] de réduire considérablement les incertitudes, sans les faire disparaître complètement, [pour assurer en particulier] la pérennité des vasières à créer dans la réserve naturelle. C'est pourquoi le principe d'une adaptation de certains ouvrages (dragages d'accompagnement, cote de l'épi plongeant, cote des deux brèches) fut adopté avec un mode de construction par phases, avec observation des résultats, permettant ainsi concrètement de modifier le fonctionnement hydrosédimentaire si la réalité s'écartait des prévisions de manière inacceptable* » (Hamm *et al.*, 2006, p. 37). De même la démarche a également envisagé le moyen terme et les effets positifs ou impacts négatifs à l'échelle de l'estuaire, dépassant ainsi la seule échelle locale d'implantation des travaux. La prise en compte de la complexité s'est donc avérée multiforme.

²⁹ Flash Info « Port 2000 », Publication Port Autonome du Havre, n°5, juin 2005, 4p.

2. Conditions de mise en œuvre et atouts d'un management adaptatif

a. Le Débat Public

Une des approches de la complexité d'un projet peut consister à organiser un débat dans lequel chaque acteur peut exposer les objectifs et contraintes des intérêts qu'il défend. C'est dans ce sens qu'a été rédigée la Loi Barnier de 1995. Le projet *Port 2000* a ainsi mis en œuvre le premier débat public d'une telle ampleur en France. Les ingénieurs rencontrés pour ce projet, de même que les articles publiés par l'ensemble des parties impliquées³⁰ reconnaissent unanimement les atouts qu'offre cette démarche :

Sur l'ensemble des apports du débat public :

« Ce débat public qui, au départ, a pu être vécu comme une procédure de plus a, en fait, été extrêmement fructueux. Ses principaux apports ont été [...] la validation très rapide et quasi unanime par tous les participants au débat de l'impérieuse nécessité de réaliser un projet portuaire d'envergure [...]; l'appropriation du projet par le plus grand nombre d'intervenants socio-économiques et associatifs de la région havraise [...]; [la création] d'un référentiel commun de connaissances [...] » (Scherrer et al., 2006, p. 27)

« Le débat public a montré que [les vasières] étaient le maillon faible de la chaîne de la vie dans l'estuaire de la Seine. Ma fierté est que les mesures d'accompagnements de Port 2000 ont permis de renforcer ce maillon avec la création de plus de cent hectares de vasières stables dans le temps »³¹

Sur les apports de la démarche selon les ingénieurs :

« [Ce projet] aura également permis de concrétiser un rapprochement significatif entre ingénieurs et environnementalistes, formidable aventure humaine, qui fera date au niveau français et européen » (Hamm et al., 2006, p. 39)

Si les résultats se sont montrés très positifs, la tâche pour mettre en place une telle démarche a été très lourde. Outre les 42 réunions qui ont structuré le débat de novembre 1997 à mars 1998, la période de préparation de ces réunions a été très intense. Claude Chardonnet – Présidente Directrice Générale du Cabinet C&S Conseils, auquel les directeurs du Port du Havre ont fait appel pour désamorcer le conflit naissant entre environnementalistes et aménageurs, explique ainsi que sur les six grandes étapes de la concertation mise en œuvre, le débat public figurait en cinquième position. Quatre étapes ont donc été nécessaires avant de pouvoir débattre publiquement : la première a consisté à comprendre les motifs du rejet du

³⁰ La revue *Travaux* a consacré un numéro complet au recueil de ces différents articles : *Travaux*, n° 828, mars 2006, « Le Havre. Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable », p.153.

³¹ Extrait de l'interview de P. Scherrer, publiée dans le dossier spécial du magazine *Le marin. Hebdomadaire de l'économie maritime*, « Port 2000, naissance d'un géant », vendredi 31 mars 2006, p. 15.

projet par les environmentalistes, la seconde a sensibilisé le maître d'ouvrage aux préoccupations de ces derniers. Cette base de dialogue alors posée, la relance du projet a été possible en intégrant les préoccupations des acteurs du territoire. Enfin, la quatrième étape a consisté à préparer plus concrètement les quatre mois de débat public en optant par exemple pour la présentation de plusieurs « *familles de solution* » afin « *d'ouvrir le champ de la réflexion collective* »³². Selon P. Scherrer³³, le dialogue instauré a ainsi permis d'éviter des recours en justice, bien souvent inhérents aux projets d'une telle ampleur et sources de retards considérables et donc de frais supplémentaires conséquents.

b. Le phasage des chantiers

L'autre atout majeur du débat public a été la mise en place d'un calendrier complexe, tenant compte des contraintes techniques, financières et environnementales des objectifs fixés. À l'issue du débat, les étapes de réalisation de l'extension portuaire ont été modifiées afin de minimiser les impacts environnementaux. En effet, les premiers plans du chantier portuaire prônaient une construction essentiellement par voie maritime. Après avoir construit les terre-pleins devant recevoir les 6 premiers postes supplémentaires de chargement et déchargement, les digues de protection de la zone de déchargement devaient être dressées grâce à un accès fluvial. Il s'est avéré que ce procédé aurait fortement perturbé le milieu estuarien et qu'un accès terrestre permettait de réduire sensiblement ces effets négatifs. Le nouveau phasage du chantier a permis d'éviter une obstruction brutale du courant de flot dont le passage privilégié se situait à l'emplacement de l'extension du port. De même, le dragage de la darse³⁴ située à l'est du futur bassin a constitué la première étape du chantier afin d'utiliser les matériaux dragués pour dresser progressivement le noyau de la digue de protection. Le chantier portuaire a ainsi réutilisé près de la moitié du total des volumes dragués (environ 45 millions de m³). Le dispositif a également pris soin de refouler derrière la digue d'enclôture les matériaux fins de façon à créer une sorte de bassin géant de décantation et d'assurer une teneur maximale de matières en suspension, l'objectif étant de ne pas renforcer la turbidité de l'estuaire en réutilisant sans « traitement » les matériaux dragués³⁵. Les photographies aériennes 59 a, b, c et d (Fiche 15) détaillent le remaniement du phasage du chantier portuaire.

Le débat public et le phasage des chantiers ont contribué à la réussite globale du projet qui peut se mesurer de plusieurs façons. Humainement et scientifiquement d'abord avec la reconnaissance des savoirs et savoir-faire de chacun et la mise en valeur – parfois la découverte – du rôle des uns et des autres : « *Nous avons dû faire la synthèse des questions soulevées. Une véritable révolution culturelle pour nous [ingénieurs]. [...] [Cela] nous a valu*

³² Chardonnet C., 2006, « Port 2000 : la concertation au service d'un grand projet », in *Travaux, Le Havre, Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable*, n°828, p. 31.

³³ Directeur technique de Port 2000, rencontré en février 2014

³⁴ Bassin généralement rectangulaire utilisé pour l'accostage des bateaux dans un port.

³⁵ Maire D., Vandenbroeck J., 2006, « Les travaux de construction des digues de protection et accès maritimes (DPAM) », in *Travaux, Le Havre, Port 2000. Une extension portuaire au service du développement durable*, n°828, pp. 57-69.

de rencontrer des scientifiques dans divers domaines que nous ne connaissons pas »³⁶. Les environnementalistes, par exemple, sont intervenus en premier lieu pour déterminer les conditions nécessaires (objectifs et contraintes) à la restauration des vasières ce qui a permis aux ingénieurs, dans un deuxième temps de modéliser et de réaliser les travaux adéquats. Économiquement ensuite avec plus de 32 000 emplois créés directement par l'augmentation de l'activité du port³⁷. Écologiquement enfin lorsque l'on observe les résultats des suivis scientifiques. Du point de vue faunistique par exemple « *à moins d'une dizaine de jours après la fin des travaux, plus d'un millier d'oiseaux de différentes espèces était comptabilisé sur l'îlot [...]* » (Debout *et al.*, 2006, p. 105). Cette fréquentation n'a cessé d'augmenter depuis et des phoques veaux marins y ont même fait escale. L'intérêt de l'Angleterre, des Pays-Bas, de la Belgique et même des États-Unis pour la démarche mise en œuvre est venu couronner le succès du projet (Lerat, 2006).

La mise en œuvre d'une vision complexe de l'aménagement du littoral constitue une démarche difficile et nécessite une adaptation permanente. Cette adaptation indispensable revient à ne jamais considérer comme figés les calculs de dimensionnement des ouvrages, comme établies les étapes des travaux à effectuer et comme irréversibles les ouvrages eux-mêmes dans le cas de la restauration des vasières par exemple. Ainsi, l'acceptation de l'incertitude fait partie de la démarche complexe. Pour être concrètement utilisée et non plus seulement admise, elle doit être transformée en souple et en un management adaptatif tout au long du projet. La façon dont a été mené le projet *Port 2000* met particulièrement bien en valeur cet aspect de la complexité.

3. Les ingénieurs tentent de conceptualiser cette nouvelle démarche complexe

Au cours des dix dernières années, de multiples rapports de synthèse de programme de recherche (Safecoast en 2008, EuroSION en 2004 *etc.*), de nombreux plans de gestion ou encore de stratégies nationales ont été rédigés, confirmant la nécessité de mettre en œuvre une démarche de gestion dite « intégrée » du littoral. Tous ont émis des recommandations que l'on peut décliner en cinq points principaux : (1) Améliorer les connaissances sur le fonctionnement du littoral et des estuaires ; (2) Articuler les échelles spatiales et temporelles de gestion ; (3) Développer une gestion concertée intégrant l'ensemble des volets économiques, sociaux et environnementaux ; (4) Privilégier des équipements de gestion souples et réversibles dans la mesure du possible ; (5) Justifier les choix d'aménagement par une analyse coûts bénéfiques et une analyse multicritère.

Ces axes de réflexion vont dans le sens de la recommandation européenne de 2002 de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) prônant une vision dynamique de la gestion côtière. Mais si la démarche est désormais admise et paraît incontournable, plusieurs

³⁶ Extrait d'interview de Pascal Galichon, ingénieur et administrateur du projet Port 2000, responsable maîtrise d'œuvre « dragages et terrassements » de Port 2000, pour la magazine *Le marin*, dossier spécial « Port 2000, naissance d'un géant », 31 mars 2006, n° 3064, p. 8.

³⁷ www.haropaports.com, consulté le 27 février 2014

difficultés subsistent. Raphaël Billé a ainsi montré qu'une certaine confusion nourrie par « quatre illusions bien ancrées » freinait la mise en œuvre de la GIZC³⁸ :

- (1) l'illusion du tour de table comme solution à tous les problèmes : réunir tous les acteurs impliqués dans un projet de gestion du littoral ne suffit pas pour assurer une concertation fructueuse. La concertation doit être préparée en amont. De même la recherche du consensus ne doit pas être le seul objectif à atteindre pour garantir la réussite du projet.

- (2) l'illusion communautaire : « une communauté est définie autour de son objet d'action collective [...] et non *a priori* par des caractéristiques géographiques ou sociales » (Billé, 2006, p. 7).

- (3) l'illusion positiviste : « le manque de connaissances justifie l'inaction » (Billé, 2006, p. 9)

- (4) l'illusion du gestionnaire unique : « un projet de gestion du littoral ne gère pas le littoral » (Billé, 2006, p. 5). Autrement dit, la complexité de la gestion du littoral ne saurait être résumée par la somme de plusieurs projets de gestion et ne saurait donc être traitée par un gestionnaire unique. La dénonciation de cette « illusion » rejoint les propos d'E. Morin sur le principe de complexité qui ne doit pas « reprendre l'ambition de la pensée simple » (Morin, 2005, p. 10). En somme, la simplification du processus de gestion à travers la recherche d'un gestionnaire unique ne peut être une solution.

Un rapport datant également de 2006, émanant conjointement du Conseil Général des Ponts et Chaussées et de l'Inspection Générale de l'Environnement, sur « La gestion des estuaires dans une approche communautaire »³⁹ a également mentionné l'inefficacité de la recherche d'un gestionnaire unique qui viendrait chapeauter la gestion d'un estuaire. Les auteurs du rapport relatent ainsi les expériences tirées pour le cas de la gestion de l'estuaire de la Seine :

« Ni la Mission d'études de la Basse-Seine (MEBS), ni l'Établissement Public de Basse-Seine (EPBS), dont l'intervention se concentre sur le foncier, n'ont pleinement réussi à être la structure porteuse d'un dialogue pérenne entre les différents acteurs pour porter une vision partagée du devenir de l'estuaire. [...] C'est en fait le projet de Port 2000 au Havre, du fait de ses enjeux économiques et de ses impacts sur l'estuaire, qui a été le déclencheur d'une véritable concertation sur les perspectives de développement de l'embouchure de l'estuaire et ses conséquences pour l'ensemble des acteurs et des populations concernées, et c'est le suivi des mesures compensatoires de Port 2000 qui fournit les raisons de pérenniser des instances de concertation et de gestion intégrée de l'estuaire »⁴⁰.

³⁸ Billé R., 2006, « Gestion intégrée des zones côtières : quatre illusions bien ancrées », in *VertigO*, vol. 7, n°3), p. 12

³⁹ Allain Y-M. *et al.*, 2006, « La gestion des estuaires dans une approche communautaire », Ministère des transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer ; Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, p. 68.

⁴⁰ Allain Y-M. *et al.*, 2006, « La gestion des estuaires dans une approche communautaire », Ministère des transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer ; Ministère de l'Écologie et du Développement Durable, pp. 57-58.

Le succès manifeste de Port 2000 a incité les initiateurs du projet, et notamment P. Scherrer, à proposer une trame, ou ligne de conduite, généralisant les différentes étapes de réflexion et de concertation ayant permis de mener à bien le projet. Les grands principes du projet ont été repris dans « Œuvrer avec la nature », document de prise de position pour le département environnement de l'association PIANC : *Permanent International Association for Navigation Congresses*⁴¹. Le texte est présenté comme une philosophie qui « a pour objectif d'aller au-delà d'éviter ou de réduire les impacts environnementaux d'une conception prédéfinie. Ce concept cherche plutôt à identifier les manières d'atteindre les objectifs du projet en travaillant avec les processus naturels, afin d'obtenir des résultats de protection environnementale, de restauration ou de renforcement environnemental »⁴². Il s'agit très concrètement pour les membres de cette association – principalement des ingénieurs - de revoir les étapes de réflexion et de conception d'un projet. Le tableau suivant compare les étapes proposées à celles d'une réflexion plus classique n'aboutissant généralement qu'à une compensation écologique des impacts environnementaux engendrés par un projet d'aménagement.

Mise en application d'une pensée complexe : ou comment « Œuvrer avec la nature »	Mise en application d'une pensée simple : ou comment mener de « simples » compensations écologiques
1. Établir les besoins et les objectifs	1. Établir les besoins et les objectifs
2. Comprendre l'environnement dans lequel s'intègre le projet	2. Concevoir des solutions techniques de mise en œuvre du projet
3. Faire appel d'une manière constructive à l'engagement des parties intéressées pour identifier les opportunités de gagnant-gagnant	3. Justifier les solutions par une analyse coût/bénéfice et une analyse multicritère (dans le meilleur des cas)
4. Préparer des propositions/conceptions initiales pour le projet, répondant au besoin de la navigation et de l'environnement et étant évaluées par une analyse coût/bénéfice et une analyse multicritère	4. Proposer des mesures de compensation écologique aux impacts environnementaux engendrés par la solution retenue.

Tableau 29 : comparaison des étapes d'une réflexion classique faisant appel à la démarche simplifiante et d'une réflexion renouvelée mobilisant une démarche complexe.

Source : www.aipcn.fr

Dans la démarche « Œuvrer avec la nature », l'attention portée à l'environnement intervient dès la 2^{ème} étape de la réflexion, alors qu'elle n'apparaît qu'en dernier lieu dans une démarche classique dans le but de « réparer » les conséquences négatives du projet par l'établissement de mesures de compensation.

Une autre façon d'intégrer l'incertitude, et notamment l'incertitude liée à l'ampleur de l'élévation du niveau marin ou la fréquence et l'intensité des tempêtes à venir, consiste à

⁴¹ PIANC est une association technique et scientifique, apolitique et sans but lucratif fonctionnant à l'échelle mondiale, créée en 1885. Au fil des décennies, les objectifs de cette association dédiée à la gestion des estuaires se sont élargis. Désormais, l'AIPCN veut « contribuer à la promotion des conditions d'exploitation de la navigation tant intérieure que maritime, en encourageant et en favorisant les progrès en matière de planification, conception, construction, aménagement, entretien et exploitation des voies d'eau intérieures et maritimes, des ports intérieurs et maritimes ainsi que des zones côtières, dans les nations industrialisées comme dans les pays en développement »⁴¹. Depuis 1994, l'association s'est dotée d'un département dédié à l'environnement, dont les principes sont exposés dans le document de prise de position « Œuvrer avec la nature ».

⁴² <http://www.pianc.org/downloads/envicom/Working%20with%20Nature%20%20position%20paper%20Revision%202011-french.pdf>, consulté le 28 février 2014

réfléchir plus avant sur la notion de mobilité et sur le caractère mobile du littoral, inhérent à ce territoire entre terre et mer.

C. Les maisons flottantes, une autre forme de mise en œuvre de la démarche complexe adaptée au littoral, qui intéresse les ingénieurs.

Un scientifique néerlandais, rencontré en octobre 2010, associait directement la réflexion sur la mobilité aux leviers à actionner pour atteindre une gestion optimisée du littoral :

« Quand on regarde les villes sur la côte on s'aperçoit qu'on les a construites de la même façon que les villes à l'intérieur du pays. Il n'y a pas de différence, c'est pareil. Et pourtant ce sont des endroits très différents. Donc, on devrait penser à une planification, un type d'architecture, qui s'intègre aux zones dynamiques. On crée des choses statiques alors que le littoral un environnement dynamique ! »

C'est également la question que s'est posé un ingénieur du génie civil, R. de Graaf, avant de clore ses études à l'Université Technologique de Delft par une spécialisation en architecture : comment habiter le littoral dans le contexte d'élévation du niveau marin, de subsidence des terres et d'augmentation de la population vivant dans la zone littorale. En effet, la population nord-ouest européenne vivant à proximité de la mer n'a cessé d'augmenter ces dernières décennies, alors que la vulnérabilité des côtes basses bordant la mer et les estuaires ne cesse d'augmenter. L'idée d'adapter les fondations des habitations - stables par définition, c'est-à-dire solides mais aussi définitivement ancrées dans le substrat - n'est donc pas saugrenue. Or cette évolution de réflexion est tout à fait nouvelle pour les ingénieurs dont « le savoir [...] a pour témoin la stabilité d'un édifice » (Picon (dir.), 1997, p. 304). En ce sens la notion de mobilité va presque à l'encontre de la culture des ingénieurs du génie civil. Il est d'ailleurs assez révélateur de constater l'absence d'une réflexion sur la mobilité des fondations d'un bâtiment dans la rubrique « Mobilité » de l'ouvrage *L'art de l'ingénieur* dirigé par A. Picon et paru en 1997⁴³. Les exemples de travaux réalisés par les ingénieurs et présentant un caractère mobile relèvent principalement d'une mobilité des façades ou des toits s'ouvrant plus ou moins en fonction de la météorologie du moment.

L'idée d'un habitat classique flottant⁴⁴ et donc mobile est révolutionnaire et semble prometteuse. La concrétisation de cette idée est plus ou moins aboutie selon les pays étudiés et les Néerlandais semblent être leaders dans ce domaine.

⁴³ Picon A., (dir.), 1997, *L'art de l'ingénieur, constructeur, entrepreneur, inventeur*, Éditions du Centre Pompidou, Paris, 598 p.

⁴⁴ la question va bien au-delà du développement du bateau-logement, qui reste marginal et qui ne peut répondre au phénomène de littoralisation.

1. Les Pays-Bas, leaders d'une révolution flottante

C'est sur le Pavillon de l'eau, inauguré à Rotterdam en 2010, que R. de Graaf me propose un entretien. Cet édifice flottant est un prototype destiné à présenter au public les nombreux avantages et les conditions de construction d'une telle structure (Photo 67). En 2015 le Pavillon flottant va déménager pour « prêcher sa bonne parole » en allant de ports en ports dans la ville. Il est par ailleurs devenu un lieu de réception et de conférences très en vogue à Rotterdam.

À quelques minutes du début de l'entretien, des trombes d'eau s'abattent sur nos têtes et des rafales de vent coiffent les trois sphères du pavillon⁴⁵. Pourtant, je ne réalise la force du vent qu'en observant au dehors les eaux très agitées de l'estuaire de la Meuse. Les éléments qui semblent se déchaîner à l'extérieur du bâtiment contrastent avec le calme qui règne à l'intérieur, malgré le bruit de la pluie sur la structure : pas de mouvements, pas de mal de mer, seulement une franche sensation d'être plantée sur la terre ferme ! Rutger de Graaf, dans un sourire réjoui, poursuit son discours : il ne pouvait espérer plus belle démonstration pour expliquer les nombreux avantages des habitats flottants.

a. Les défis relevés par le Pavillon flottant de Rotterdam

Le Pavillon flottant a été réalisé à partir d'une technique inédite de flottabilité. Le socle de la structure, de près de 1000 m², est composé de cinq couches de polystyrène expansé (PSE), allant de 20 à 75 cm d'épaisseur. Dans la couche la plus mince, a été incorporée une couche de béton armé. Les autres couches de polystyrène alternent avec des couches de béton simple. Cet assemblage permet d'allier flottabilité (le polystyrène expansé renferme 98% d'air) et stabilité. Au total, le socle a une épaisseur de 2,25 m, dont 80 cm restent hors d'eau en permanence. Par ailleurs, la structure du pavillon, est composée d'hexagones et de pentagones formant des sphères inspirées de la forme de bulles d'eau. Pour optimiser la flottabilité de l'ensemble, du plastique anti-corrosion (ETFE) a remplacé le verre classiquement utilisé. Ce matériau est en effet cent fois plus léger pour les mêmes qualités de transparence et d'effet de serre : il permet une régulation optimale de la température intérieure, utilisant l'énergie solaire pour chauffer ou climatiser les salles.

Au-delà des efforts d'innovation de conception, la construction même du bâtiment a du relever de nombreux défis :

- construire directement sur l'eau
- déterminer les phases de construction du chantier de façon à ce que le poids soit en permanence équitablement réparti pour maintenir la flottabilité de l'ensemble
- couler du béton sur une surface flexible
- travailler avec les marées
- travailler avec les vagues
- travailler durant un hiver rigoureux

⁴⁵ Cet entretien s'est déroulé le 28 octobre 2013, période pendant laquelle une forte tempête s'abattait sur les côtes françaises atlantiques et de la Manche avant de s'engouffrer dans le goulet d'étranglement à la jonction de la Manche et de la Mer du Nord et de venir mourir dans cette dernière.

Le Pavillon a donc été conçu pour démontrer qu'une réponse au phénomène de littoralisation couplé à l'incertitude scientifique sur l'ampleur à venir de l'élévation du niveau marin et des précipitations était possible. L'exposition située à l'entrée du Pavillon flottant, déroule le cheminement de réflexion ayant conduit à la conception du bâtiment : une telle architecture permet de répondre simultanément aux problèmes d'inondation provoquée par les crues de la Meuse, par de fortes et longues précipitations, par le débordement des nappes phréatiques et par l'élévation du niveau de la mer.

Si le Pavillon fait encore figure de prototype, d'autres techniques ont déjà été mises en œuvre pour réaliser des habitations flottantes aux Pays-Bas depuis une dizaine d'années et de nombreuses familles se sont définitivement appropriées ce nouveau mode d'habitat à Amsterdam entre autres.

b. Les maisons et immeubles flottants de la banlieue d'Amsterdam

Depuis la fin des années 2000, de nouveaux habitants ont élu domicile à Ijburg au sud-est d'Amsterdam. Afin de résoudre des problèmes de disponibilités de terres constructibles, la ville a lancé un projet de construction de maisons flottantes. Pour ce faire, une grande parcelle d'eau a été ceinturée d'une digue, elle-même surmontée d'une route d'accès (Photo 60).



Photo 62 : immeubles flottants à Ijburg, construits. *Source* : S. Gueben-Venière, 2013.

Photo 60 (gauche) : vue aérienne D'Ijburg. Des pontons sur pilotis desservent l'ensemble des habitations. *Source* : Google Earth, 2013 ; **Photo 61** (centre) : détail d'un pilier le long duquel glisse la plate-forme d'une maison située à Ijburg. *Source* : S. Gueben-Venière, 2013 ;

L'objectif était de tester la faisabilité d'une construction flottante - les maisons individuelles - avant d'aller éventuellement plus loin en développant des immeubles flottants (Photo 62), voire des villes flottantes. En somme, il s'agissait de répondre à trois questions : (1) Les solutions techniques imaginées conjointement par ingénieurs et architectes étaient-elles viables ? (2) Comment la population allait-elle accueillir ce nouveau concept ? Allait-elle se l'approprier ? (3) Quel serait le comportement des maisons au fil du temps ?

À peine une dizaine d'années après la construction des premières maisons, le résultat est encourageant. Le système de piliers, ancrés dans le sol et sur lesquels glissent les maisons en fonction du niveau de l'eau, est tout à fait fiable (Photo 61). Par ailleurs, la souplesse des tuyauteries permet aux maisons de rester connectées en permanence au réseau électrique et au tout à l'égout. Ainsi, moyennant quelques concessions (une attention portée à la répartition du poids des meubles dans la maison et au gel éventuel en hiver de certaines tuyauteries), les habitants trouvent de nombreux avantages à vivre sur l'eau. Le premier est sans doute la possibilité de bénéficier d'une plus grande surface. À Ijburg, les maisons font toutes plus de 100 m². Certaines atteignent même les 175 m² répartis sur trois niveaux. L'autre atout majeur est le prix de ces maisons, moitié moins élevé que dans le centre de la capitale. De même, le coût d'entretien des maisons est assez léger. Il est possible, sans que ce soit indispensable, de nettoyer les plates-formes flottantes à partir de la plate-forme elle-même ou par bateau afin de retirer les plantes aquatiques qui se sont fixées progressivement. Enfin, le sentiment d'être « plus proche de la nature » et la possibilité de mener plus facilement des activités extérieures vient couronner le succès de ce nouveau mode d'habitation. Un article du journal *Le Monde*, datant de 2013, retranscrivait les propos d'un habitant :

« Ici on a l'impression d'être en vacances. L'été, les enfants se baignent devant la maison et découvrent de nombreux poissons. L'hiver, ils patinent sur le bassin. C'est fantastique de vivre sur l'eau : on s'y sent libre »⁴⁶

Cet article avait cependant suscité des questions lors d'un dernier séjour effectué aux Pays-Bas en octobre 2013 : les maisons flottantes, aussi avantageuses soient-elles, ne présentent-elles pas un fort risque de noyade ? À cette question qui aurait pu être un peu embarrassante, R. de Graaf a répondu sans hésitation :

« Cela ne pose aucun problème. Je crois que c'est une question de culture : nous sommes habitués depuis tout petit à vivre au milieu de l'eau. L'eau ne nous fait pas peur. Il suffit de savoir nager. D'ailleurs, apprendre à nager fait partie des obligations que doit remplir l'école. Et avant d'atteindre cet âge, les plus grands veillent sur les plus jeunes. C'est quelque chose de naturel pour nous »⁴⁷.

Ces propos auraient pu paraître rôdés pour servir des arguments commerciaux s'ils n'avaient pas été confirmés par une habitante de l'une des maisons de Ijburg, mère de trois jeunes enfants, rencontrée lors de ce séjour.

Un autre point, réglementaire cette fois, montre la capacité des Pays-Bas à faire preuve de flexibilité et ainsi à encourager les solutions complexes de gestion du territoire. Pour réaliser cette expérience, il a fallu en effet adapter la législation de manière à ce que les futurs

⁴⁶ Garric A., « Pays-Bas : « Vivre dans une maison flottante, c'est l'aventure », Journal *Le Monde* du 12 juillet 2013.

⁴⁷ « *This is not a problem. I think it's a question of culture : we are used to live, since the first age, surrounded by water. One just need to learn how to swim. Moreover, learning how to swim is an obligation at school. And before reaching the age for swimming, the oldest take care of the youngest. It's something totally naturel for us* », extrait d'interview de R. de Graaf, ingénieur du génie civil, réalisée le 28 octobre 2013.

propriétaires d'une maison flottante soient également en mesure d'acheter une parcelle d'eau sur laquelle construire leur nouvelle habitation. Cet obstacle administratif non négligeable a été très tôt pris en compte par le gouvernement ce qui a permis d'accompagner de très près le développement de ce nouveau concept, ce que R. de Graaf, comme ses confrères, ont fortement apprécié. Considéré bien plus comme une réelle nécessité que comme une extravagance architecturale, le développement des maisons flottantes est ainsi vivement encouragé par les autorités. Or cette flexibilité réglementaire est beaucoup moins évidente en France, ce qui empêche le développement de telles habitations. Pourtant les projets sont là et les idées ne manquent pas.

2. Une réflexion sur la mobilité de l'habitat, freinée en France par flou réglementaire

La maison flottante cumule les qualités domestiques d'une maison classique (larges surfaces habitables réparties sur plusieurs niveaux et offrant tout le confort attendu) et les qualités flottantes d'un bateau. Et c'est bien ce qui pose problème aux autorités françaises. Puisqu'il s'agit d'une habitation, la construction d'une maison flottante nécessite un permis de construire. Or celui-ci, et en particulier depuis le désastre de la tempête Xynthia, est impossible à délivrer pour les zones inondables. Pourtant, ayant les caractéristiques de flottabilité d'un bateau, les maisons flottantes ne devraient pas être soumises à ce type de permis, mais soumises à la législation sur les bateaux. Mais là encore, la difficulté persiste car un bateau a vocation à être déplacé. Les péniches par exemple, ont l'obligation de naviguer au moins une fois par an. Enfin, la loi française ne permet pas aujourd'hui d'acheter une « parcelle d'eau constructible », ce qui est pourtant une condition *sine qua non* pour la construction d'une maison flottante.

Ce problème, relaté à plusieurs reprises dans la presse⁴⁸, n'empêche pas les ingénieurs et les architectes de croire à cette nouvelle opportunité de développement. Ainsi, le bureau d'ingénierie Batifl'o propose depuis plusieurs années déjà une habitation reposant sur des flotteurs étanches en polyéthylène intégrant des amarres l'empêchant de dériver (Figure 60). Ce prototype s'adapte ainsi aux inondations comme aux périodes de sécheresse : « *Dans l'idéal, la maison flottante est posée sur un lit de sable et monte à mesure que l'eau monte. [...] En cas de fortes sécheresses et de restrictions de pompage, le bassin se vide et la ligne de flottaison baisse. La maison peut donc retrouver la terre ferme* »⁴⁹.

Si ce type d'habitation flottante est plus adapté à un plan d'eau calme, d'autres solutions ont été imaginées pour répondre à la problématique de submersion marine et contourner le flou réglementaire relatif aux maisons flottantes. Dans un mémoire de Master 2 en architecture intitulé « Habiter le risque. Adapter l'île de Noirmoutier au risque de submersion marine »⁵⁰, I. Petit a réfléchi aux possibilités d'adapter l'habitat de l'île de Noirmoutier. En s'inspirant des techniques de dépoldérisation permettant de recréer une zone tampon entre terre et mer, cette étudiante en architecture a imaginé un habitat adapté. Les zones soumises à

⁴⁸ Par exemple : Rebière N., « Pau : les maisons flottantes restent à quai », Journal *SudOuest* du 26 avril 2011 ; Lamoureux N., « L'eau monte, l'homme invente », *Le Point.fr*, 29 mars 2012.

⁴⁹ Rebière N., « Pau : les maisons flottantes restent à quai », Journal *SudOuest* du 26 avril 2011

⁵⁰ Petit I., 2013, *Habiter le risque. Adapter l'île de Noirmoutier au risque de submersion marine*, projet de fin d'étude, ENSA – Versailles, 54 p.

un faible de risque de submersion peuvent ainsi abriter des habitations pour lesquelles la réflexion sur la mobilité s'est appliquée à l'intérieur même du bâtiment. En somme, il s'agit d'inverser les fonctions au sein de la maison (Figure 60).

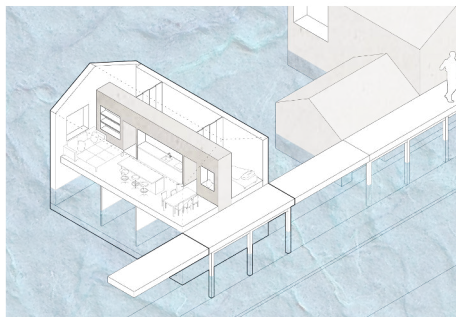


Figure 60 : Mobilité à l'intérieur du bâtiment. Les fonctions sont inversées au sein de la maison.

Source : Petit, 2013

Conception et réalisation : Petit, 2013

Les pièces conviviales rassemblant l'essentiel des réseaux électriques et de canalisation se situent au rez-de-chaussée. En cas de submersion, il est non seulement possible de se réfugier à l'étage, mais aussi de continuer à mener une vie normale. Une route surélevée joignant les maisons les unes autres permet de maintenir une communication avec l'extérieur et de rejoindre un centre de secours construit sur pilotis.

Une autre configuration d'habitat est proposée aux abords des digues de premier ou de second rang, selon le cas. Il s'agit en fait d'une forme modernisée des maisons de digues néerlandaises : les *dijkwoning*.



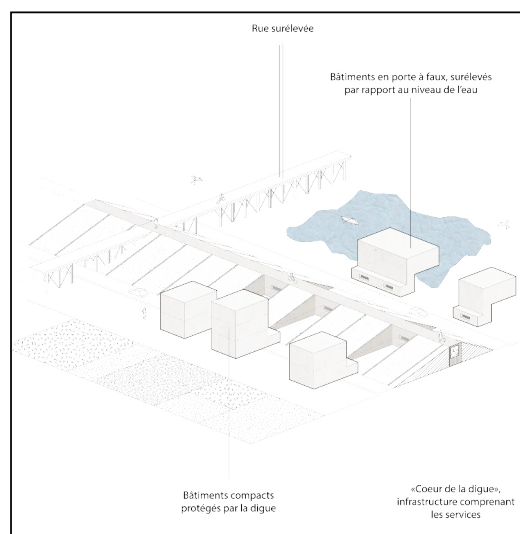
Photo 63 : exemple de *dijkwoning* ou « maison de digue ». Une partie de la maison est enfoncée dans la digue. Mais l'ensemble des réseaux électriques et de canalisation sont indépendants de la digue.

Source : <http://www.panoramio.com/photo/89398075>

Figure 61 : Une forme modernisée de la *dijkwoning*. La maison n'est plus seulement protégée par adossement à la digue de second rang (dans cet exemple), mais y est directement intégrée. Le cœur de la digue abrite alors les réseaux d'électricité et de canalisation.

Source : Petit, 2013

Conception et réalisation : Petit, 2013.



La double fonctionnalité des digues est une question actuellement discutée aux Pays-Bas. Elle suscite un grand enthousiasme chez certains ingénieurs-architectes, mais aussi une forte réticence chez d'autres qui considèrent la digue comme un ouvrage de protection contre la mer et dont la totalité du volume est nécessaire pour répondre à ce seul objectif.

3. À chaque configuration son habitat flottant

Plusieurs formes de mobilité de l'habitat sont donc possibles. Elles ont été imaginées par des architectes seuls ou des ingénieurs architectes. Rapportés aux zones littorales basses, trois objectifs principaux peuvent motiver la construction d'habitats flottants ou adaptés aux zones soumises aux risques inondation et submersion marine : la sécurité en premier lieu, le manque de terrains constructibles et enfin le besoin d'espace faisant fonction de réservoir ponctuel pour accueillir des surplus d'eau. Deux modalités principales doivent être croisées pour déterminer le type d'habitat le plus adéquat : la profondeur du plan d'eau d'une part et la fluctuation ou non du niveau d'eau d'autre part. Le tableau suivant présente le croisement de ces deux modalités, en fonction de leur intensité. Il met ainsi en valeur une typologie du degré de mobilité de l'habitat.

Profondeur du plan d'eau	Fluctuation du niveau d'eau			
	++	+	+/-	-
zone soumise à marée entrée d'eau non contrôlée	vagues sup. à 3 m maison amphibie, maison sur pilotis	vagues comprises entre 1,5 et 3 m maison flottante, maison sur caisson	vagues inf. à 1,5 m maison à étage avec possibilité d'inversion des fonctions	vague exceptionnelle maison à étage
zone soumise à marée entrée d'eau contrôlée	maison flottante, maison sur caisson	maison flottante, maison amphibie, maison sur caisson	maison amphibie	maison à étage
zone non soumise à marée (lac, étang, lagune)	maison amphibie, maison sur caisson, maison flottante	maison amphibie, maison sur caisson, maison flottante	maison amphibie, maison sur caisson, maison flottante	/

Tableau 30 : Typologie du degré de mobilité de l'habitat, adaptée aux zones marines et humides.
Sources : d'après Willemin, 2008 ; De Graaf, 2009 ; Watson et al., 2011 ; Olthuis et al., 2010 ; Loes Nillensen et al., 2011.

Fiche 16 : les maisons flottantes, une nouvelle façon d'habiter le littoral

Maison flottante avec plate-forme et piliers



Photo 64 : vue des maisons flottantes à Ijburg. **Photo 65** : détail d'un pilier le long duquel glisse la plate-forme. **Photo 66** : détail d'une maison flottante avec terrasse et « parking » à bateau. Source : S. Gueben-Venière, octobre 2013.

Maison amphibie



Photo 67 : Pavillon flottant de Rotterdam. Principe : la dalle du bâtiment est composée de couches de polystyrène expansé alterné avec des couches de béton. Source : S. Gueben-Venière, 2013.



Figure 62 : construction amphibie. Principe : le bâtiment repose sur des flotteurs étanches en polyéthylène. Source : Architectes MOS.

Maison de digue



Figure 63 : maison intégrée à la digue de second rang et construite en « porte à faux ». La vie de la maison est principalement située à l'étage. Source : Petit, 2013.

Maison sur caisson



Figure 64 : maison sur un caisson flottant encastré dans la terre ferme. Source : inhabitat.com

Maison sur pilotis



Photo 68 : maison reposant sur des piliers ancrés dans le sol. Source : J. Pardey, 2009



Photo 69 : la même maison en période d'inondation. Source : J. Pardey, 2009

Les zones littorales subissant une marée avec une entrée d'eau non contrôlée, peuvent être soumises à une variation brutale du niveau d'eau par exemple en cas de tempête et de surcote. Dans ce cas, la maison amphibie, construite sur le modèle du Pavillon flottant de Rotterdam (Photo 67), peut répondre à cette variation rapide du niveau d'eau car elle réagit exactement comme un bateau. La maison sur pilotis peut offrir une autre solution si les poteaux sur lesquels repose la maison sont dimensionnés de telle sorte qu'ils laissent la maison hors d'eau. En revanche, la maison flottante, dont la plate-forme coulisse le long de piliers, n'est pas une bonne solution dans ce cas de figure : l'élévation de la maison ne peut se faire que de façon progressive et ne peut pas « absorber » une vague supérieure à trois mètres par exemple. Les caractéristiques des maisons à étage avec éventuellement une possibilité d'inverser les fonctions au sein de la maison, répondent à une situation de crise, lorsque des vagues atteignent exceptionnellement des terres déjà surélevées par rapport au niveau moyen de la mer. Les maisons de digue, version moderne de la *dijkwoning*, s'apparentent à des constructions en porte à faux côté mer (Figure 63), ou à des bâtiments compacts encastrés dans la digue côté terre (Figure 61). Enfin, lorsque la fluctuation du niveau d'eau est nulle ou quasi-nulle, plusieurs habitats sont envisageables : les maisons amphibie, les maisons flottantes et les maisons construites sur caisson. Ce dernier type d'habitat est sans doute le plus adapté à ce cas de figure car le caisson flottant sur lequel repose la maison doit rester encastré dans son habitacle. Or une trop grande variation du niveau d'eau risquerait de faire partir le caisson et sa maison, à la dérive.

Conclusion du chapitre 10 :

Les deux cas de figure présentés (restauration de vasières et habitat flottant), montrent que les ingénieurs ont su s'approprier le renouvellement de la réflexion portant sur la gestion côtière et dépasser le tournant écologique et social qui les avait tenus pour responsables de l'artificialisation sans frein du littoral. En effet, la restauration des vasières comme la réalisation la conception d'habitations flottantes, requièrent, bien que de façon différente, une maîtrise technique évidente. Or la maîtrise et l'amélioration de la technique est le premier point fort des ingénieurs. Le second réside dans l'innovation : l'ingénieur est homme d'invention, de défi. Pourtant cette qualité avait sans doute été quelque peu mise de côté ces dernières décennies. Bien sûr les progrès techniques ont été formidables, mais, en ce qui concerne le littoral, ils n'ont pas systématiquement été accompagnés d'une réflexion sur l'orientation des solutions qu'ils supposaient. Les ingénieurs se sont trop longtemps posés la question de résistance du trait de côte et tardivement celle de l'adaptation.

Le développement à venir et l'amélioration des techniques de restauration de vasières en France pourrait sans doute ouvrir la voie aux ingénieurs à une spécialité française de gestion du littoral et par conséquent la voie de l'ingénierie écologique adaptée au littoral, tandis que le sens de l'innovation, propre au métier d'ingénieur peut être relancé par le développement des habitats flottants. Ainsi, paradoxalement, le renouvellement de la réflexion à mener pour gérer le littoral, imposé au départ aux ingénieurs, peut désormais leur permettre de renouer avec l'essence de leur métier : la technique et l'innovation.

Cette recherche avait un double objectif : décrire les pratiques innovantes de gestion du littoral observées en Angleterre, en France et aux Pays-Bas d'une part ; expliquer les fondements de ces nouvelles pratiques en s'attachant à analyser le rôle des ingénieurs du génie civil dans le renouvellement des solutions de gestion proposées, d'autre part. Ces derniers sont en effet des acteurs incontournables de l'aménagement du territoire. Leur puissante influence dans les décisions a longtemps imposé une vision techniciste de l'aménagement du littoral, qui n'est désormais plus en adéquation avec les exigences de la Gestion Intégrée des Zones Côtières prônant une gestion concertée, plus respectueuse de l'environnement et intégrant l'ampleur incertaine des conséquences du réchauffement climatique. Dans ce contexte environnemental et socio-économique nouveau, en constante évolution, trois questions principales ont été formulées :

- Comment les ingénieurs du génie civil se représentent-ils le littoral qu'ils aménagent ?
Persistent-ils à défendre une vision fixiste et linéaire du littoral, ou développent-ils au contraire une vision complexe de la gestion de ce territoire entre terre et mer ?
- Font-ils toujours autorité en matière d'aménagement et de gestion du littoral ?
- Se sont-ils appropriés ce nouvel environnement de travail au point de faire émerger pour le XXI^e siècle un « génie de l'environnement » au même titre que le « génie civil » a caractérisé le XIX^e siècle ?

Il s'avère que la distinction classiquement établie entre vision techniciste, longtemps imputée aux ingénieurs et vision intégrée de la gestion du littoral généralement attribuée aux autres scientifiques semble aujourd'hui dépassée. De façon générale, l'analyse des pratiques observées montre une implication des ingénieurs dans la recherche d'un littoral à la fois plus « vert » et moins vulnérable. De même, la notion d'environnement est désormais très présente dans les discours des ingénieurs consacrés au littoral.

Des ingénieurs toujours innovants, mais de plus en plus « verts »

Deux grands modes innovants de gestion ont été observés : le rechargement massif en sable et la dépoldérisation totale, par brèche ou arasement de la digue de mer. Dans un cas comme dans l'autre, c'est bien parce que les initiateurs des projets – dont les ingénieurs – ont considéré le caractère dynamique du littoral qu'ils ont pu l'utiliser comme moteur de réflexion pour imaginer de telles solutions. En effet, l'idée novatrice du mode de gestion par

rechargement massif en sable réside dans l'utilisation de la force des courants littoraux pour disperser le sable de façon à protéger la portion de littoral déterminée. Le travail des ingénieurs consiste, dans ce cas de figure, à modéliser le plus précisément possible les dynamiques présentes pour ensuite savoir exactement où effectuer les dépôts de sédiments. Dans le cas de la dépoldérisation totale, les connaissances sur le rôle défensif attribué au schorre et ses paramètres de restauration ont permis d'inverser toute une politique de protection côtière reposant auparavant sur la fixation du trait de côte par poldérisation, désormais attachée à utiliser la zone littorale comme un espace tampon protecteur entre terre et mer.

De façon générale, ces nouvelles techniques de gestion ont été largement approuvées par les ingénieurs rencontrés. Elles leur permettent en effet de revaloriser leur savoir-faire technique en l'utilisant désormais au service d'un double objectif, sécuritaire et environnemental. L'analyse des discours consacrés au littoral confirme ce constat. Ingénieurs comme non ingénieurs s'accordent pour définir le littoral comme un territoire complexe et dynamique nécessitant une gestion spécifique, intégrant plusieurs aspects dont des enjeux environnementaux. De même, les réflexions des uns et des autres sur les modalités à mettre en œuvre pour atteindre une gestion optimisée du « littoral de demain » présentent de nombreux points communs. Les graphes associatifs font par exemple ressortir quatre mots ou expressions cités par les ingénieurs comme les autres scientifiques : il faut ainsi améliorer la *coordination* entre les différents corps de métier de façon à mettre en œuvre une *gestion adaptée* à ce milieu entre terre et mer dont le principe fondamental consiste à *travailler avec la nature*. La nécessité d'établir une *politique nationale* clairement définie est également partagée par l'ensemble des acteurs. Toutefois, cette forte homogénéité des discours présente plusieurs nuances et fait notamment ressortir le poids des influences culturelles. Ainsi, plus qu'une différence de points de vue entre ingénieurs et non ingénieurs, ce sont des visions néerlandaises, anglaises et françaises du littoral qui s'esquissent.

Du « vert clair¹ » au vert « franc » : une question d'influences culturelles

Replacée dans un contexte européen, l'observation des deux principaux modes de gestion décrits fait ressortir des orientations plus ou moins prononcées que l'on peut associer à des spécialités nationales. La dépoldérisation totale par exemple, plus connue en Grande-Bretagne sous le nom de *managed realignment*, s'avère être une spécialité britannique, et ce à double titre (cf. cartes 21 et 22). Le royaume affiche en effet le plus grand nombre de dépoldérisations totales effectuées ou en projet. Les seules côtes est et sud-est comptent plus d'une vingtaine de dépoldérisations totales dont 3 atteignent une superficie supérieure ou égale à 400 ha. Par ailleurs, seules deux dépoldérisations ont été vivement contestées en quarante ans. Ceci témoigne d'une réelle avancée des Anglais dans ce domaine, tant sur le plan technique de conception et de mise en œuvre du *managed realignment* que sur le plan social de la concertation entre différents acteurs et de la communication au public des

¹ Expression empruntée à M. Bess, tirée du livre : BESS M., 2011, *La France vert clair. Écologie et modernité technologique 1960-2000*, Éd. Champ Vallon, Seyssel, Coll. L'environnement a une histoire, 402 p.

avantages défensifs *a priori* paradoxaux de ce mode de gestion. La dépoldérisation volontaire est en effet beaucoup moins populaire en France ou aux Pays-Bas. Ces derniers comptent 6 dépoldérisations contestées pour seulement 2 dépoldérisations totales réalisées. En France, la majorité des dépoldérisations totales est accidentelle : les brèches formées lors de tempêtes sont finalement maintenues. En cela on peut avancer que les Anglais rencontrés ont une vision que l'on peut qualifier de « vert franc ».

Sur la façade est de la mer du Nord, les Néerlandais, historiquement reconnus pour leur expertise en matière de poldérisation, sont aujourd'hui devenus experts dans la technique de rechargement massif en sable. Le projet phare ZandMotor marque à la fois l'aboutissement d'une expérience de plus de vingt ans dans le rechargement ponctuel des plages et des dunes, et le début d'un perfectionnement prometteur de cette technique impliquant désormais une échelle spatio-temporelle non plus locale et ponctuelle, mais régionale et envisagée sur le moyen terme (20 à 25 ans). Cette étape consistant à envisager le rechargement en sable comme une solution répondant à une stratégie de gestion à long terme du littoral n'est véritablement franchie ni en France, ni en Angleterre. La vision des Néerlandais rencontrés peut être qualifiée de « verte » dans la mesure où ces derniers placent désormais au cœur de leur réflexion sur la gestion du littoral à adopter la sécurité et l'environnement, dans les limites imposées par le contexte socio-économique et démographique bien particulier des Pays-Bas.

L'analyse des discours confirme les tendances nationales observées dans les pratiques de gestion côtière. La vision sécuritaire, par exemple, mise en avant dans l'ensemble des discours consacrés à la description du littoral, s'avère particulièrement prononcée chez les Néerlandais. Alors que les visions du littoral décrites par les ingénieurs et les autres acteurs montrent de fortes analogies, elles offrent au contraire des différences remarquables selon le pays d'origine des acteurs rencontrés. Il existe ainsi une vision néerlandaise du littoral et de sa gestion que l'on peut qualifier de sécuritaire. Tandis que les acteurs anglais offrent une vision environnementale et particulièrement dynamique du littoral, les acteurs français décrivent une vision complexe et réglementaire du littoral, dans laquelle la notion de risque est très prégnante. Cette vision « vert clair » que les acteurs français se font du littoral et de sa gestion ne doit toutefois pas être assimilée à un manque d'intérêt pour les enjeux environnementaux. Ces derniers, bien souvent, ont montré une volonté de les intégrer de façon entière et globale en tenant compte non seulement des différents secteurs qu'ils recouvrent, mais aussi des différentes fonctionnalités à préserver ou restaurer. Le respect des continuités (trames verte et bleue) relève d'une complexité de mise en œuvre qui peut justifier en partie le relatif retard des Français par rapport à leurs homologues anglais et néerlandais.

Deux facteurs principaux, communs aux trois pays d'étude, ont été relevés pour expliquer les tendances observées. Un tournant écologique et social s'est opéré en Europe à partir des années 1960, puis son institutionnalisation progressive, à l'échelle européenne comme aux échelles nationales, a mis un frein aux solutions préconisées par les ingénieurs. Parallèlement à ce mouvement social et politique, les énormes progrès techniques de mesure et de modélisation à partir de la même décennie, de même que l'intensification des échanges

entre scientifiques et ingénieurs-aménageurs, ont permis de mieux saisir la complexité dynamique du littoral. Son fonctionnement est désormais analysé sous un angle géomorphologique mettant en valeur la cellule sédimentaire. Cette unité, décrite entre autres par M. Bray en 1995, contient un cycle complet de sédimentation, réunissant zones de production sédimentaire, de transport et de dépôt. La combinaison de ces deux facteurs a définitivement condamné l'approche techniciste des ingénieurs et permis de faire émerger la notion de gestion intégrée du littoral. Cette notion, située au croisement de l'aménagement, principalement décidé à l'échelle nationale, et de l'équipement, associé à une échelle ultra-locale, offre en effet un cadre de réflexion beaucoup plus riche.

Bien que ces évolutions aient concerné les trois pays, là encore l'analyse des influences culturelles permet de mieux comprendre les avancées des Néerlandais dans le rechargement massif en sable et leur moindre enthousiasme pour la dépoldérisation, ou l'avancée des Anglais dans le *managed realignment*. La peur des tempêtes et la mémoire encore très vive de celle de 1953 a nourri des représentations sociales fortes chez les Néerlandais, qui peuvent constituer un véritable frein à la mise en œuvre de ce mode de gestion tant auprès des populations locales que des ingénieurs eux-mêmes. De plus, l'État a légiféré en faveur du maintien du trait de côte tel qu'il était positionné en 1990. Il est donc absolument impossible d'envisager, ailleurs que le long des rives estuariennes, toute forme de recul du littoral aux Pays-Bas. Par ailleurs, la moindre reconnaissance des ingénieurs anglais par la population britannique par rapport à leurs homologues néerlandais et surtout français peut expliquer en partie la plus grande aisance avec laquelle ces derniers se sont progressivement mélangés à d'autres acteurs tels les géomorphologues recrutés dès le début des années 1990 au sein de l'*Environment Agency*. De même, la capacité des ingénieurs anglais à avoir su remettre d'eux-mêmes en question leur conception de la protection côtière dès les années 1970, comme en témoignent les archives des colloques de l'*Institution of Civil Engineers*, apporte une autre source d'explication à l'avancée anglaise. Enfin, l'émoi provoqué par la tempête Xynthia qui s'est abattue sur les côtes françaises en 2010 explique la réticence de certains ingénieurs à la mise en œuvre d'un recul stratégique tel que l'encourage la Stratégie nationale de gestion du trait de côte, en particulier certains ingénieurs travaillant à l'échelon départemental, en contact direct avec la population locale.

Une formidable évolution des ingénieurs du génie civil

Les trente dernières années ont donc constitué un véritable bouleversement pour les ingénieurs du génie civil. En dénonçant leurs pratiques d'aménagement du littoral, c'est également leur mode de pensée qui était remis en cause et par conséquent leur rôle au sein de la société et la raison d'être de leur formation. Cette formation très sélective, d'un haut niveau technique, construite sur le modèle hypothético-déductif d'acquisition des connaissances, célébré au XIX^e siècle pour sa rigueur scientifique, a soudainement perdu de sa superbe. Le raisonnement déductif, qui consiste en une simplification à l'extrême du tout, analysé comme la somme des parties constituant ce tout, a été mis à mal par l'apparition au XX^e siècle de la logique des systèmes, de l'acceptation de l'incertitude scientifique et de la notion de

complexité. Ce bouleversement, toujours en cours, aurait pu laisser croire en une perte de vitesse des ingénieurs. Certes, un certain retrait par rapport à la position de premier plan qu'ils détenaient jusqu'alors a été constaté. D'autres professionnels, formés en sciences humaines et sociales ou en sciences de la vie, ont progressivement occupé des postes clés dans la gestion du littoral. Cette transition, à l'image du *turning point* écologique et social de 1973, s'est effectuée de manière précoce et assez brutale aux Pays-Bas. Elle s'est progressivement mise en place au début des années 1990 en Angleterre, tandis qu'elle a été beaucoup plus tardive en France. Ce n'est en effet qu'au cours de la seconde moitié des années 2000 que des juristes ont par exemple dirigé des sections de la DGALN au sein du ministère de l'Environnement, et que des géographes ou des biologistes marins ont été recrutés dans les bureaux d'ingénierie côtière. Pourtant, il est plus juste de parler d'un repositionnement des ingénieurs au sein de l'ensemble des acteurs prenant désormais part au processus décisionnel. Ce rééquilibrage du pouvoir détenu par les ingénieurs, indirectement encouragé par la GIZC, n'est en effet pas synonyme d'une mise à l'écart de leurs compétences techniques de conception et de mise en œuvre. L'effort d'uniformisation, à l'échelle européenne, des formations des ingénieurs pour rendre plus homogène et plus visible ce groupe professionnel ainsi que sa force d'adaptation, sont en train de permettre aux ingénieurs du génie civil de surmonter ce bouleversement qualifié de crise par nombre d'entre eux, et d'en sortir grandis en ne voyant plus dans l'arrivée de nouveaux spécialistes une concurrence déloyale, mais bien une complémentarité fructueuse. Ainsi, malgré quelques exceptions, liées par exemple au décalage générationnel entre ingénieurs, il semble que ces derniers se soient appropriés ce nouveau contexte au point d'avoir su créer de nouvelles opportunités professionnelles et de pouvoir lancer de façon prometteuse un génie technique et environnemental au même titre que le génie civil a caractérisé l'âge d'or des ingénieurs du XIX^e siècle. Une attention portée par exemple à la mobilité du littoral, a conduit certains ingénieurs néerlandais à travailler de concert avec des architectes pour repenser la façon d'habiter le littoral. Pourquoi persister en effet à nier l'essence même du littoral – sa mobilité – en continuant d'habiter cet espace de la même façon que l'on habiterait un terrain stable ? Des ingénieurs et ingénieurs-architectes néerlandais ont donc imaginé et développé depuis une dizaine d'années des maisons flottantes, dont la principale qualité est de pouvoir s'adapter aux fluctuations d'un niveau d'eau. Cette nouvelle façon d'habiter le littoral est aujourd'hui une réalité qui ne demande qu'à se développer. Depuis quelques années, des immeubles flottants ont vu le jour dans la banlieue d'Amsterdam, et les ingénieurs rencontrés à ce sujet prévoient avec grand optimisme d'expérimenter à moyen terme la construction d'une ville flottante en contact direct avec la mer du Nord. Cet exemple, un peu extrême, montre néanmoins que les ingénieurs néerlandais sont en train de revisiter le littoral, de s'en approprier la complexité pour en optimiser la gestion et ainsi sans doute restaurer auprès de leurs nouveaux collègues une reconnaissance un temps égarée.

La capacité d'adaptation et d'innovation des ingénieurs confère à ce corps de métier une élasticité qui a pu être visible tout au long de ce texte par l'emploi de plusieurs qualificatifs pour distinguer plusieurs profils d'ingénieurs. En entretien, certains d'entre eux se sont spontanément qualifiés d'ingénieur manager, d'ingénieur système, d'ingénieur conseil ou encore d'ingénieur de recherche. La possibilité pour un ingénieur de porter plusieurs

casquettes rend difficile toute classification ou essai de typologie. Un ingénieur peut en effet être manager d'une équipe et participer parallèlement à un programme de recherche. De même, on peut être ingénieur spécialiste et ingénieur système, c'est-à-dire capable d'envisager des solutions au sein de systèmes complexes, tel le littoral. Par ailleurs, le sens attribué à ces différents qualificatifs peut varier d'un pays à l'autre. Un étudiant néerlandais, formé à l'Université Technologique de Delft, sort au bout de cinq ans d'étude avec le titre d'Ir pour Ingénieur de recherche. Il conservera ce titre tout au long de sa carrière, même si son parcours professionnel le conduit exclusivement finalement vers du management ou de la gestion de chantier. La figure suivante présente donc, plus qu'une typologie, un essai de restitution de l'évolution de ces profils d'ingénieurs en mettant en relation cinq facteurs principaux :

- les principales inventions et prouesses techniques des ingénieurs,
- les grandes structures de gestion côtière et de formation des ingénieurs,
- les stratégies nationales de gestion côtière,
- les grandes influences émanant des ingénieurs ou extérieures au monde de l'ingénierie,
- les grandes figures d'ingénieurs ayant marqué l'histoire du génie civil littoral ou influencé un mode de pensée,
- les grands progrès de la connaissance scientifique sur les dynamiques littorales.

On constate que l'importance et la précocité de l'influence des ingénieurs néerlandais dès le XVI^e siècle sont remarquables. L'apparition des moulins à eau dès le début du XV^e siècle, puis leur perfectionnement grâce à l'adjonction d'une tête pivotante permettant de relever l'eau de 3 m dès 1570, constituent des prouesses techniques uniques qui n'ont d'égal ni en France ni en Angleterre. La chronologie néerlandaise montre bien, après des siècles de lutte contre la mer, l'évolution très rapide que l'aménagement du littoral a connue en un demi siècle : en 1955, le plan Delta, conçu par des ingénieurs, prône le combat contre la mer et marque l'apogée de la vision techniciste du littoral imposée par ces derniers ; en 2008, le Plan Delta 2 incite à « vivre avec l'eau ». Au cours de cette période, un événement majeur : le *turning point* écologique et social de 1973. Bien que cette évolution vers une gestion intégrée du littoral, plus respectueuse de l'environnement, s'inscrive dans un mouvement européen, voire mondial, il ressort une spécificité néerlandaise de l'aménagement du littoral, marquée par :

- trois grandes figures d'ingénieurs, enracinées dans la mémoire collective pour leur contribution à la sécurité croissante du pays face à la submersion marine et aux inondations (Leeghwater, Lely et Van Veen),
- le plus grand nombre d'inventions et de réalisations techniques (comparativement à la France et à l'Angleterre),
- le recrutement précoce et continu à partir de 1971 d'écologues et de biologistes au sein du Rijkswaterstaat.

Les ingénieurs anglais montrent un profil tout à fait différent. Certes la machine à vapeur est une invention révolutionnaire qui a cultivé la renommée internationale des ingénieurs britanniques. Cependant, si des applications à cette invention ont été trouvées dans

le drainage des terres (Les Fens par exemple), elles étaient marginales par rapport à l'application industrielle qui a suivi. Ainsi les ingénieurs anglais se sont montrés presque en retrait des questions d'aménagement du littoral, l'équipant ponctuellement et rehaussant les digues en place après de fortes tempêtes (dont celle de 1953). La moindre reconnaissance sociale de leur corps de métier par rapport à leurs homologues néerlandais et français, explique en partie pourquoi, en l'absence d'un événement écologique et social majeur, comme cela a été le cas aux Pays-Bas, le recrutement de profils autres qu'ingénieurs au sein de l'administration centrale de l'*Environment Agency* a été possible. Toutefois, la capacité des ingénieurs anglais à avoir d'eux-mêmes remis en question leur façon de penser le littoral et sa gestion, dès les années 1970, est tout à fait remarquable. Elle explique aussi l'avance avec laquelle les Anglais ont mis en œuvre les premiers *Shoreline Management Plans* (1986) prônant une gestion globale du littoral non plus calquée sur des entités administratives mais sur des unités géomorphologiques pertinentes : les cellules sédimentaires.

La France montre un certain retard tant dans l'ouverture de postes clés de gestion du littoral à des non ingénieurs (à partir du milieu des années 2000) que dans l'élaboration d'une stratégie nationale de gestion intégrée du littoral (2012). Ceci s'explique principalement par le pouvoir et le prestige conférés aux ingénieurs français depuis la création des premières Écoles d'État au XVIII^e siècle. Cette distinction entre ingénieurs d'État et ingénieur civil est d'ailleurs spécifiquement française. Elle a impliqué pendant des décennies un système extrêmement hiérarchisé et corporatiste, que l'on aurait presque pu qualifier de sclérosé si des fusions de corps n'avaient pas été entamées à partir de 2007.

De façon générale, la période allant de la naissance de la première forme d'ingénierie hydraulique au début du XIII^e siècle, à la fin du XVIII^e siècle, marque la puissance et l'influence des ingénieurs néerlandais. La fin de cette période (le XVIII^e siècle) célèbre l'innovation technique des ingénieurs anglais. Le XIX^e siècle, tant pour la rationalisation du territoire qu'ils ont permise que par l'influence de nouveau mode de pensée (le « rôle social » initié par F. Le Play), est celui des ingénieurs français.

Le milieu du XX^e siècle marque le triomphe retrouvé de la vision techniciste du littoral chez les ingénieurs néerlandais et français (vision exclusivement sécuritaire des Néerlandais et vision urbaine, touristique et portuaire des Français). Enfin, à partir des 1990, les ingénieurs des trois pays évoluent parallèlement vers une plus grande concertation avec d'autres scientifiques : les connaissances scientifiques sont plus largement diffusées, les expériences partagées, les recherches aussi désormais menées à l'échelle européenne. Les ingénieurs du génie civil surmontent la crise environnementale et sociale des dernières décennies et réinventent les applications de leurs savoir et savoir-faire technique : l'ingénierie environnementale se développe et ainsi des « ingénieurs systèmes » caractérisés par une vision systémique et complexe qu'ils se font du littoral.

Nouvelles pistes de recherche envisagées : comment habiter le littoral de demain ?

La question de savoir comment habiter le littoral de demain a été posée depuis quelques années par les Néerlandais. Des ingénieurs et des architectes réfléchissent en effet à de nouveaux habitats, de nouveaux modes de vie, permettant de s'adapter aux fluctuations du niveau de l'eau et de rendre *a priori* moins vulnérables les populations aux inondations et submersions marines. S'il est vrai que cette solution répond également à un enjeu démographique propre aux Pays-Bas, la réflexion portée sur la façon d'habiter un territoire mobile, à risques, reste intéressante ailleurs. Au lendemain de la tempête Xynthia par exemple, une certaine critique à l'égard des architectes, et en particulier des règles d'esthétisme imposées par les Architectes de France, s'est fait sentir. Pourquoi en effet interdire la construction d'habitation à étage alors que c'est précisément la présence d'un étage qui a pu sauver de nombreuses personnes en Vendée ? Ce cas de figure n'est pas limité au territoire de la Vendée : en France, 20 % des habitations exposées aux submersions marines sont de plain-pied. Les régions des Pays de la Loire, du Poitou-Charente et du Languedoc-Roussillon concentrent le plus grand nombre de ce type d'habitats². Or, le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique 2011-2015 par exemple, certes établi avant Xynthia mais traitant néanmoins de l'adaptation des politiques d'urbanisme, se concentre principalement sur les documents d'urbanisme et l'instauration de zones constructibles ou non. En ce qui concerne le bâtiment, les orientations recommandées se préoccupent uniquement de réglementations thermique et énergétique, sans montrer d'attention particulière au lien entre forme ou organisation du bâtiment et milieu dans lequel il s'insère. De même, une brève recherche sur la question a montré qu'aucun ouvrage n'était référencé sur le sujet à la bibliothèque de la Cité de l'Architecture. Seuls des mémoires récents de master³, non moins intéressants mais témoignant de la nouveauté de la question, ont en partie porté sur le sujet. Pourtant les rayons réunissant les ouvrages consacrés à la façon d'habiter un territoire soumis au risque sismique par exemple, sont très fournis, et de gros progrès ont été faits par les architectes pour construire des structures de plus en plus résistantes aux secousses. Qu'en est-il donc pour le littoral ? Comment les architectes, autres acteurs de la gestion du littoral, se représentent-ils ce territoire dynamique ? Comment peuvent-ils contribuer à la construction des politiques publiques de gestion du littoral ?

Ce sont ces nouvelles pistes de recherche que j'envisage d'approfondir à l'avenir, en m'intéressant à la fois à un nouveau corps de métier (l'architecte) et à une question fondamentale en milieu littoral face aux évolutions conjointes de la littoralisation et du changement climatique.

Figure 65 : évolution du profil des ingénieurs impliqués dans l'aménagement ou la gestion du littoral du XIII^e siècle jusqu'à nos jours.

² www.developpement-durable.gouv.org

³ tel celui d'I. Petit, 2013, *Habiter le risque. Adapter l'île de Noirmoutier au risque de submersion marine*, Projet de fin d'études, ENSA – Versailles, 51 p.



Annexe A :

Liste des personnes rencontrées

Annexe B :

Exemple de grille d'entretien utilisée

(les questions étaient chaque fois adaptées à la formation et à la fonction de la personne ; de même, la personne pouvait choisir l'ordre des questions).

Annexe C :

Exemple de carte mentale réalisée au cours d'un entretien.

Annexe D :

Extrait du cahier des charges établi par le Conservatoire du littoral pour l'appel d'offre de l'étude de faisabilité de dépoldérisation à Sainte-Marie-du-Mont.

Liste des personnes rencontrées

Aux Pays-Bas : (46 personnes)

Leo Adriaanse, engineer (Ir.)
Senior Advisor, Department of Water Management
Rijkswaterstaat, Zeeland
(juillet 2010)

Niels Al, urbanist
Policy Advisor, Water & Coast
Department of Urban Development, The Hague
(avril 2011)

Eelco van Beek, engineer (Ir.)
Professor at TUDelft and Wageningen University,
Consultant at Deltares, Department of water Management
(juillet 2010)

Joop Beijersbergen, advanced technician (Ing.)
Specialist in water management and dike design
Policy Advisor for the Province of South Holland
(octobre 2010)

Arie van Blanken, urbanist
Urban Advisor for Westland municipality (South Holland)
(Avril 2011)

Mark Broos, advanced technician (Ing.),
Water Board of Holland Noorderkwartier
(avril 2011)

Ankie Bruens, engineer (Ir.)
Project manager in coastal sedimentation
Deltares
(juillet 2010)

Jan Wouter Bruggenkamp, architect
Independant,
(août 2010)

Jos Claessens, engineer (Ir.)
Chairman of the Executive Secretariat of the Flemish Dutch Scheldt Commission
(août 2010)

Jon Coosen, ecologist
Senior Advisor in water management,
Rijkswaterstaat, Zeeland
(août 2010)

Lies Dekker, engineer (Ir.)
Senior Advisor in water management,
Rijkswaterstaat Zeeland
(avril 2011)

Douwe Dillingh, engineer (Ir.)
Senior advisor and researcher
Section: Hydrodynamics and real-time systems
Unit: Sea and Coastal Systems
Deltares
(juillet 2010)

Marjo Dohmen-Janssen, environmentalist,
Study advisor,
Twente University,
(août 2011)

Jeroen Doornekamp, advanced technician (Ing.)
Policy Maker for Flood Protection
Province of Flevoland
(avril 2011)

Job Dronkers, physician
Independent consultant on coastal and marine issues
(août 2010)

Rutger de Graaf, engineer-architect (Ir.)
Deltasync. Waterbased Urban Development, Directeur,
(octobre 2013)

Frans Hamer, engineer (Ir.)
Project manager Research Programme “Strength & Loadings Flood Defences”
Deltares
(octobre 2010)

Peter Herman, ecologist
NIOZ Royal Netherlands Institute for Sea Research, Head of Department
(octobre 2009 et mai 2011)

Chris Lansink, environmentalist
Policy advisor watermanagement and
Environmental manager spacial quality weak coastal links
Province of North Holland
(août 2010)

Gerda Lenselink, engineer (Ir.)
strategic advisor integrated watermanagement
Deltares
(juillet 2010)

Pieter Leroy, sociologist
Professor of Political Sciences of the Environment
Radboud University Nijmegen
(juillet 2011)

Marjo Lexmond, environmentalist
Study advisor,
Wageningen University,
Sub-department of Environmental Technology,
(juillet 2010)

Gert-Jan Liek, engineer (Ir.)
Water management and morphology Advisor
Rijkswaterstaat, Zeeland
(août 2010)

Quirijn Lodder, geographer
Senior Advisor, Technical Manager of the Dutch Coastal Maintenance program
Rijkswaterstaat
(avril 2011)

Gerard Loman, engineer (Ir.)
Senior Project Manager
Boskalis
(octobre 2010)

Sander Meijerink, geographer
Associate Professor,
Radboud University Nijmegen
(août 2010)

Jan Mulder, geographer
Senior Coastal Specialist
Deltares
(juillet 2010 et avril 2011)

Koen Oome, environmentalist
Senior Projectleader
Province of South Holland
(avril 2011)

Yves Plancke, engineer (Ir.)
Flanders Hydraulics Research, Antwerp, Belgium
(octobre 2009)

Roel Posthoorn, environmentalist
Head of the department of project management
Natuurmonumenten
(octobre 2010)

Yvo Provoost, advanced technician (Ing.)
Senior advisor
Zeeweringen, Zeeland
(juillet 2010 et octobre 2013)

Maarten Reinking, geologist
Project Manager
Rijkswaterstaat
(avril 2011)

Jeroen Reitdijk, engineer (Ir.)
Advisor on water safety for the Water Board of Delfland
(avril 2011)

Henk Saeijs, biologiste et écologue
Ancien Directeur de la branche zélandaise du Rijkswaterstaat
(août 2010)

Yigall Schip, urbanist
Policy Maker Northsea Coast
VROOM Ministry
(avril 2011)

Robert Slomp, engineer (Ir.)
Senior Expert
Rijkswaterstaat
(avril 2011)

Jana Steenbergen, engineer (Ir.)
Principal Consultant
Head of Coast & Rivers
Grontmij
(octobre 2010)

Marcel Stive, engineer (Ir.)
Professeur à la TUDelft
(juillet 2010)

Nynke Post Uiterweer, environmentalist
Study Advisor, Wageningen University,
Sub-department of International Land & Water Management,
(juillet 2010)

Bert van der Valk, geologist
Senior Advisor
Deltares
(août 2010)

Johannes Veenstra, engineer (Ir.)
Project Leader
Province of Friseland
(octobre 2010)

Harmen Verbeek, oceanologist
Project manager in the field of policy decision making on estuaries in Zeeland
Rijkswaterstaat, Zeeland
(juillet 2010)

Georges Versters, advanced technician (Ing.)
Waterboard of Rijnland
(avril 2011)

Paul Visser, engineer (Ir.)
Study Advisor
TUDelft
(août 2010)

Lenie Wasmus, secretary
Study Advisor
TUDelft
(août 2010)

Robin Witkamp, advanced technician (Ing.)
Water Board of Holland Noorderkwartier
(avril 2011)

En Angleterre : (27 personnes)

John Badley, environmentalist
Manager of Freiston Shore and Frampton Marsh nature reserves
RSPB
(juillet 2011)

Alison Baptiste, Chartered Civil Engineer,
National Coastal Policy Manager,
Environment Agency
(septembre 2011)

Harriet Billanie, ornithologist
Land manager
RSPB
(août 2011)

Anthony Bishop, environmentalist
Senior Environmental Project Manager
Environment Agency
(août 2011)

Ian Black, environmentalist
Senior Reserve Manager
Natural England
(septembre 2011)

Guy Cooper, environmentalist
Flood Warning team,
Environment Agency
(août 2011)

Nick Cutts, ornithologist
Deputy Director & Senior Ornithologist
Institute of Estuarine & Coastal Studies (IECS), Hull University
(juillet 2011)

Pauline Deutz, geographer

Lecturer
University of Hull
(juillet 2011)

Mark Dixon, engineer

Consultant in advisory capacity on sustainable wetlands
RSPB, Environment Agency, DEFRA, Dredging International, Natural England etc.
(août 2011)

Uwe Dorsbuch, geomorphologist,

Project manager, Environment Agency
(août 2011)

Peter Frew, Chartered Civil Engineer

Independent consultant
(juillet 2011)

Karl Fuller, environmentalist

Principal Environmental Project Manager
Environment Agency
(août 2011)

Angus Garbutt, Coastal Ecologist

Center for Ecology & Hydrology
Natural Environment Research Council
(juillet 2011)

Geoff Gibbs, Chartered Civil Engineer,

Flood Risk Management Technical Advisor
Environment Agency
(août 2011)

Greg Guthrie, Chartered Civil Engineer

Principal Engineer/Associate Director,
Haskoning UK
(août 2011)

Nick Hardiman, Ecologist,

Senior Coastal Adviser, Flood and Coastal Risk Management
Environment Agency
(juillet 2011)

Tim Kermode, Chartered Civil Engineer,

Independant consultant,
(worked for 35 years for Environment Agency as coastal adviser)
(juillet 2011)

Lucas Mander, ornitologist

Institute of Estuarine & Coastal Studies (IECS), Hull University
(juillet 2011)

Neil Mclachlan, advanced technician

East Riding Council
(juillet 2011)

Paul Murby, economist in ecology
Head of Technical Scrutiny and Policy Development
Funding Investment & Outcomes Team
Defra, Flood and Erosion Risk Management Programme
(septembre 2011)

Joe Pearce, water resources engineer
Project Manager,
national capital programme management service for the Environment Agency in England and Wales
(août 2011)

David Read, Chartered Civil Engineer,
Principal Project Engineer, Regional Flood Defence
Environment Agency Southern Region
(juillet 2011)

John Riby, Chartered Civil Engineer
Chairman of the North-East Coastal Group
(juillet 2011)

Faith Spencer, biologist
Humber Biodiversity Officer
Environment Agency
(août 2011)

Karen Thomas, geomorphologist,
Eastern Area Coastal Advisor,
Environment Agency
(août 2011)

Chris Tyas, ornithologist
Wallasea Island Project Manager
RSPB
(août 2011)

Philip Winn, Chartered Water Management Engineer,
Humber Strategies Manager,
Environment Agency
(août 2011)

En France : (32 personnes)

Cyril Bellouard, environnementaliste
Chef du pôle préservation de la biodiversité
Conseil Régional des Pays de la Loire
(août 2012)

Pierre Bona, ingénieur
Chef de projet
Groupement d'Intérêt Public Loire Estuaire
(août 2012)

Gérald Bonnier, ingénieur
Président de l'ACORAM
(Association des Officiers de réserve de la Marine nationale)
(juillet 2012)

Bernard Clément, ingénieur
Directeur du Département Ville & Environnement
ENTPE
(octobre 2012)

Stéphane Costa, géographe
Professeur des Universités,
Université de Caen Basse Normandie
(juillet 2012)

Guy Désiré, géomorphologue
Division Infrastructures et Environnement
CETE de l'OUEST
(août 2012)

Emmanuel Devaux, ingénieur
Chargé d'études Environnement & Risques
CETE de l'OUEST
(août 2012)

Paul Durand, géographe
Maître de conférence, Université Paris 1
(août 2012)

Jean-François Etienne, technicien
Chargé de mission à la Faute-sur-Mer
(juillet 2012)

Gaëlle Favrel, ingénieur
Chef de division, DREAL des Pays de la Loire
(août 2012)

Yves Gauthier, ingénieur
Chef de l'unité Protection du littoral, DDTM Vendée
(juillet 2012)

Cyril Gomel, ingénieur agronome
Chargé de mission,
Conseil général de l'environnement et du développement durable
Section « Aménagement durable des territoires »
(juillet 2012 et février 2013)

Luc Hamm, ingénieur
Directeur Technique,
ARTELIA Eau & Environnement
(novembre 2012)

Annick Hélias, économiste
Membre permanent,
Conseil général de l'environnement et du développement durable
Section « Aménagement durable des territoires »
(juillet 2012)

Jean-Philippe Lacoste, géographe
Directeur de la Délégation Normandie
Conservatoire du littoral
(octobre 2012)

Pascal Lebreton, ingénieur
Chargé de Mission
CETMEF/DIR
(octobre 2012)

Régis Leymarie, géographe
Délégué adjoint Normandie
Conservatoire du littoral
(octobre 2012)

Christophe Lourme, ingénieur
Direction des Infrastructures Routières et Maritimes,
Service Maritime Départemental, Assistance Inondations aux Maîtres d'Ouvrages
Conseil Général de Vendée
(juillet 2012)

Pascal Mège, environnementaliste
Animateur de la CLE du SAGE du LAY
(juillet 2012)

Maurice Milcent, maire de l'Aiguillon-sur-Mer
(juillet 2012)

Denis Musard, ingénieur
Chargé de mission au SGAR, Pays de la Loire
(juillet 2012)

Renaud Pinoit,
Vice Président de l'Association des Victimes des Inondations de la Faute-sur-Mer
(juillet 2012)

Stéphane Raison, ingénieur
Préfigurateur Grand Port Maritime de la Réunion
DEAL Réunion/SPBA
(août 2012, par téléphone)

Frédéric Raout, ingénieur
Adjoint au Chef du Bureau du Littoral et du Domaine Public Maritime
MEDDE / DGALN / DEB
(juillet 2012)

Gilles Robin, ingénieur
Directeur adjoint,
École des Ponts ParisTech,
(février 2013)

Amélie Roche, ingénieure
Chargée d'études
Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales
(juillet 2012)

Paul Scherrer, ingénieur
Directeur Général Adjoint chargé de l'Aménagement
Membre du Directoire
Grand Port Maritime du Havre
(février 2013)

Lucie Thiébot, biologiste marine
Chef de projet, branche maritime
ARTELIA Eau & Environnement
(juillet 2012)

Frédéric Uhl, juriste
Chef du Bureau du Littoral et du Domaine Public Maritime
MEDDE / DGALN / DEB
(juillet 2012)

Cyril Vanroye, ingénieur
Délégué du Préfet pour la mise en œuvre du Plan Submersions Rapides Chef du Service Gestion
Durable de la Mer et du Littoral
Direction Départementale des Territoires et de la Mer de la Vendée
(juillet 2012)

Fernand Verger, géographe
Professeur émérite
École Normale Supérieure
(septembre 2012)

Jacques Viguier, ingénieur
Directeur Adjoint, Branche Maritime
ARTELIA Eau & Environnement
(novembre 2012)

Grille d'entretien

I. INFORMATIONS GENERALES (demandées par mail avant l'entretien)

1. Ingénieur
 - a. Avez-vous un diplôme d'ingénieur ?
 - b. Quel exactement le titre de votre fonction ?
 - c. Portez-vous le titre d'ingénieur dans le cadre de votre fonction ?
2. Votre formation
 - a. Dans quelle université/ école avez-vous étudié ?
 - b. Quel est exactement l'intitulé et le niveau du diplôme que vous avez obtenu ?
 - c. En quelle année l'avez-vous obtenu ?
 - d. Avez-vous suivi une spécialité ? si oui, laquelle ?
3. Votre carrière professionnelle
Quel est votre parcours professionnel depuis l'obtention de votre diplôme ?

II. REPRESENTATIONS DU LITTORAL ET DE SA GESTION

1. Comment définiriez-vous le littoral ? Quelles limites lui attribuez-vous ? Est-ce que cette question a fait l'objet de débat lors de l'élaboration de la Stratégie Nationale de gestion intégrée du trait de côte ? Ou bien était-ce évident pour tout le monde ?
2. Parmi les scientifiques (chercheurs, ingénieurs, experts...), pouvez-vous citer une personne qui a fait évoluer votre vision de la gestion du littoral ?
3. Quelle distinction faites-vous entre *aménagement*, *gestion* et *équipement* ?
4. À quelles échelles envisagez-vous la gestion/l'aménagement du littoral ?

III. POLITIQUE D'AMENAGEMENT DU LITTORAL EN FRANCE

A. REFLEXION SUR LA GESTION ACTUELLE DU LITTORAL

1. Après la tempête Xynthia, de nombreux rapports ont vu le jour, dont le plan « Digue », rebaptisé ensuite *Plan Submersions Rapides*. Selon vous y a-t-il une évolution notable entre ce premier plan et le rapport « Cousin » qui expose les propositions de la Stratégie Nationale de gestion intégrée du trait de côte ?
2. La Stratégie Nationale de gestion intégrée du trait de côte a pour sous-titre : « vers la relocalisation des activités et des biens ». Est-ce, selon vous, une orientation tout à fait nouvelle ?
3. La Stratégie Nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, indique : « *il est préférable de parler de **frange côtière** plutôt que de gestion du trait de côte (...) La frange côtière introduit l'idée d'une réflexion en profondeur à la fois vers la terre (...) mais également vers la mer* ».
→ Pensez-vous que cette façon de prendre en compte une zone de transition entre terre et mer soit tout à fait nouvelle dans les politiques d'aménagement ?
→ Selon vous, l'élaboration de la Stratégie Nationale de gestion du trait de côte correspond-elle à une impulsion européenne, donnée par les différentes recommandations européennes transposées dans le droit français ? Ou alors correspond-elle plutôt à une réponse française à l'échelle nationale après analyse des besoins à l'échelle locale ?
4. La Stratégie Nationale recommande d'anticiper l'évolution des phénomènes physiques d'érosion côtière et de submersion marine en prenant en compte de façon anticipée l'impact du changement climatique. Pourtant il existe encore aujourd'hui de nombreuses incertitudes scientifiques sur l'ampleur et les conséquences du réchauffement climatique.
→ Dans ce contexte, quelle attitude adopter en termes de politique d'aménagement ? Ne pensez-vous pas que l'on en « fasse un peu trop » sur cette question du réchauffement climatique ?
→ Dans ce contexte d'incertitude, comment, selon vous, est-ce possible de mettre en pratique l'une des recommandations du rapport, consistant à tenir compte de l'évolution des phénomènes physiques à 10, 40 ou 90 ans pour anticiper la relocalisation des activités et des biens, sur la base de l'analyse coûts-bénéfices ?
5. Quel est, selon vous, le texte qui fait référence aujourd'hui en matière d'aménagement du littoral ?
Y a-t-il eu, selon vous, un avant/après Xynthia en termes de politique d'aménagement du littoral, à l'image, par exemple, de la tempête meurtrière qu'ont connu les Pays-Bas en 1953 ?

<p>6. Avant la rédaction de la Stratégie Nationale de gestion intégrée du trait de côte, pensez-vous que la France s'était déjà dotée d'une politique d'aménagement du littoral ? Et d'une politique de gestion du littoral ?</p> <p>7. Il existe différents programmes de recherche européens sur la gestion du littoral : EUCC, Safecoast, Comcoast, Encora, TIDE... Pensez-vous que la France soit suffisamment impliquée dans ces programmes de recherche ?</p> <p>8. Pensez-vous que la France a connu un tournant écologique et social notable et précisément repérable dans le temps, marqué par un événement en particulier ?</p> <p>10. Pensez-vous que l'on puisse avoir une vision positive du réchauffement climatique et de ses conséquences pour la gestion du littoral ? Si oui, comment ?</p>
<p>B. UNE GESTION IDEALE OU OPTIMISEE DU LITTORAL</p> <p>1. Pourriez-vous décrire les aspects qui seraient à prendre en compte pour mettre en œuvre une gestion idéale ou optimisée du littoral ?</p> <p>2. Selon vous, quels outils de gestion seraient à prendre en compte ou à inventer ?</p> <p>3. Quelles échelles de gestion devraient être prises en compte ?</p> <p>5. Selon vous, quels sont les avantages et les inconvénients de la directive européenne <i>Gestion Intégrée des Zones Côtières</i> ? Vous est-elle utile dans votre travail ? La percevez-vous comme incontournable ? Nécessaire ? Contraignante ? Inutile ?</p>
<p>IV. REPRESENTATIONS DES INGENIEURS ET DES EXPERTS SC PAR EUX-MEMES</p>
<p>A. DEVENIR INGENIEUR</p> <p>1. Pourquoi avoir fait des études d'ingénieurs ? Quelles étaient vos motivations, <i>avant</i> d'intégrer l'ENTPE ?</p> <p>2. En choisissant cette École, vous vouliez devenir ingénieur. En somme, que vouliez-vous apprendre exactement ?</p> <p>3. Quels sont, selon vous, les points forts et les points faibles de l'ENTPE ?</p> <p>4. Pourquoi une année supplémentaire à l'Université de Plymouth ? Qu'y cherchiez-vous en particulier ?</p> <p>5. Estimez-vous que l'approche de gestion intégrée du littoral, dont la Stratégie Nationale fait preuve, vous a été enseignée ou a été tout au moins abordée pendant votre formation à l'ENTPE ? À l'Université de Plymouth ?</p> <p>6. Employait-on dans vos formations l'expression de <i>génie côtier environnemental</i> qui apparaît sur le site du CETMEF ?</p>
<p>B. ETRE INGENIEUR</p> <p>1. Qu'attendait-on de vous lors de votre embauche pour le poste que vous occupez actuellement ?</p> <p>2. Votre parcours professionnel a-t-il été finalement en accord avec ce que vous imaginiez faire en intégrant l'ENTPE ?</p> <p>3. Savez-vous combien de temps en moyenne un ingénieur conserve son poste dans une structure comme le CETMEF ?</p> <p>4. Comment gérez-vous votre carrière : selon les opportunités offertes par les postes, quel que soit le domaine ? Selon le domaine qui vous intéresse, par exemple, le littoral ?</p> <p>5. Quelles sont les principales difficultés rencontrées dans l'exercice de votre métier ?</p> <p>6. Depuis votre premier emploi en tant qu'ingénieur, avez-vous constaté une/des évolution(s) majeure(s) au sein des ingénieurs ? Dans leur formation ? Dans leurs responsabilités ? Dans le rôle que la société leur attribue ?</p> <p>7. Distinguez-vous plusieurs profils d'ingénieurs ? Si oui, lesquels ?</p> <p>8. Dans le domaine qui nous intéresse, travaillez-vous avec une majorité d'ingénieurs ? Connaissez-vous leur formation ? Avec quels autres professionnels travaillez-vous ?</p> <p>9. Toujours dans le domaine de la gestion du littoral, pensez-vous que les ingénieurs sont présents à chaque échelon du processus de décision ? Selon vous, y a-t-il eu un changement de ce point de vue ?</p> <p>10. Selon vous, qu'est-ce qu'un ingénieur ?</p> <p>11. Pouvez-vous qualifier le terme <i>ingénieur</i> en 5 mots ?</p> <p>12. Pouvez-vous qualifier le terme <i>écologue</i> en 5 mots ?</p>

Main lines of the interview
I. National & regional scales
A. Coastal planning
<ol style="list-style-type: none"> 1. According to you, on which sea level rise's estimations for 2100 does The UK base itself today? Does it take into account vertical land movements? 2. Defra wrote a report in 2005 "<i>Making space for water</i>". <ul style="list-style-type: none"> → Do you know what does « <i>Making space for water</i> » mean exactly? 3. Besides, the Environment Agency published in 2010 « <i>The coastal handbook. A guide for all those working on the coast</i> ». <ul style="list-style-type: none"> → Is it the most recent report written, and your Bible today about coastal management Policy? Or is there a newer one? → What is new in this report? What are the big differences with what used to be coastal management in the UK until now? → How would you qualify the then/previous the policy of coastal protection in the UK : offensive, simply defensive by maintaining the coastline, or accepting the retreat ? 4. Do you think there has been an ecological and social turning point in the history of coastal management in the UK? A specific event which marked the beginning of a new way of managing the coast? 5. If yes, since when the point of view of the ecologists change from the status of opposition to the one of real actor of the coastal management?
B. The Management
<ol style="list-style-type: none"> 1. How would you define coastal management as it exists today in the UK? 2. Can you explain to me the organisation of coastal management in the UK, and the role of Coastal Groups in it? 3. What kind of solutions does it need to provide?
II. The local scale
Sandy low coasts: from a case study
<ol style="list-style-type: none"> 1. Maintaining dunes by beach nourishment is a technique to fight erosion. Can you describe to me this process or schematize it? 2. Can you describe to me the project management of this site? <ul style="list-style-type: none"> → the context : the problem to solve? → which stakeholders were involved? → the reasons of this management's choice : which solution(s)? → the stages of realization of the project 3. What exactly was your role in this project? 4. What were your difficulties in this project management? 5. The last IPCC report (2007) provides an acceleration of sea level rise and a possible increase of storms. In this context, does beach nourishment seem to you to be a mode of too fragile management in the faced of such forecasts? 6. According to you, can beach nourishment play other functions than a defensive one against the sea? 7. According to you, what are the limits or the difficulties of this way of management?
III. Your personal opinion
A. The Coast
<ol style="list-style-type: none"> 1. How would you define the coast? What is the coast for you? 2. Among scientists (researchers, engineers, experts...) can you give an example of a person who developed your vision of coastal management?
B. What could be an ideal coastal management ?
<ol style="list-style-type: none"> 1. Could you describe the aspects to be considered for an ideal management of the coast? 2. What would be the scale of reflection you used? 3. According to you, what existing tools should be taken into account? (legislation tools, technical

tools, management tools)

4. Are there management tools or methods that need to be developed? If yes, which ones?
5. Which are the tools you wouldn't like to use?
6. (If not mentioned yet :) According to you what are the advantages and the inconveniences of the Integrated Coastal Zone Management? (ICZM)

C. Representations of engineers by themselves

1. Why have you decided to become an engineer? What were your motivations before you followed these studies?
2. When you became an engineer, what was expected from you?
3. Eventually, has your career path been in line with what you expected from your studies?
4. What are the main difficulties you meet in your job?
5. Since your first job as an engineer, have you seen an evolution in the profession? In the trainings? In the responsibilities of engineers?
6. Do you recognise several engineers' profiles?
7. In the area of coastal management, do you think engineers are present at each stage of a project and in each decision?
8. Can you qualify the term *engineer* in 5 words? The term *ecologist* in 5 words?
9. Eventually, according to you, what is an engineer?

Grille d'entretien sur formation dispensée à L'École des Ponts ParisTech.

A. L'École des Ponts et Chaussées depuis 1960

1. Lors de la définition du projet stratégique de l'École des Ponts et Chaussées pour l'an 2000, Pierre Veltz mentionnait l'enjeu de la mutation des entreprises et écrivait à ce propos : « *elle redéfinit en profondeur le rôle des ingénieurs, qui ne sont plus des techniciens dans leur tout d'ivoire, mais de véritables acteurs de projets pluridisciplinaires et multiculturels* »
→ Pouvez-vous commenter cette phrase et expliquer les conséquences directes de cette volonté ?
→ Comment, concrètement, les élèves ingénieurs apprennent-ils la pluridisciplinarité ?
2. De même, Pierre Veltz décrit brièvement l'évolution des domaines de l'École :
 - le domaine historique du génie civil et de la construction
 - depuis les années 1980, l'ingénierie économique et financière des projets, le génie industriel et l'organisation, le génie mécanique et les matériaux, la modélisation et la simulation informatique.
 - Puis, à partir de la fin des années 1990, la volonté affichée de former des ingénieurs capables de lier « *aspects techniques, financiers, économiques, sociaux et environnementaux des projets* ».→ L'apparition des domaines sociaux et environnementaux résulte-t-elle d'une réponse à une demande de la part de l'État ? Des entreprises ? Est-elle à l'initiative même de l'École ?
→ Comment cette volonté d'ouverture pluridisciplinaire s'est-elle traduite dans le contenu des programmes de formation des élèves ingénieurs ?

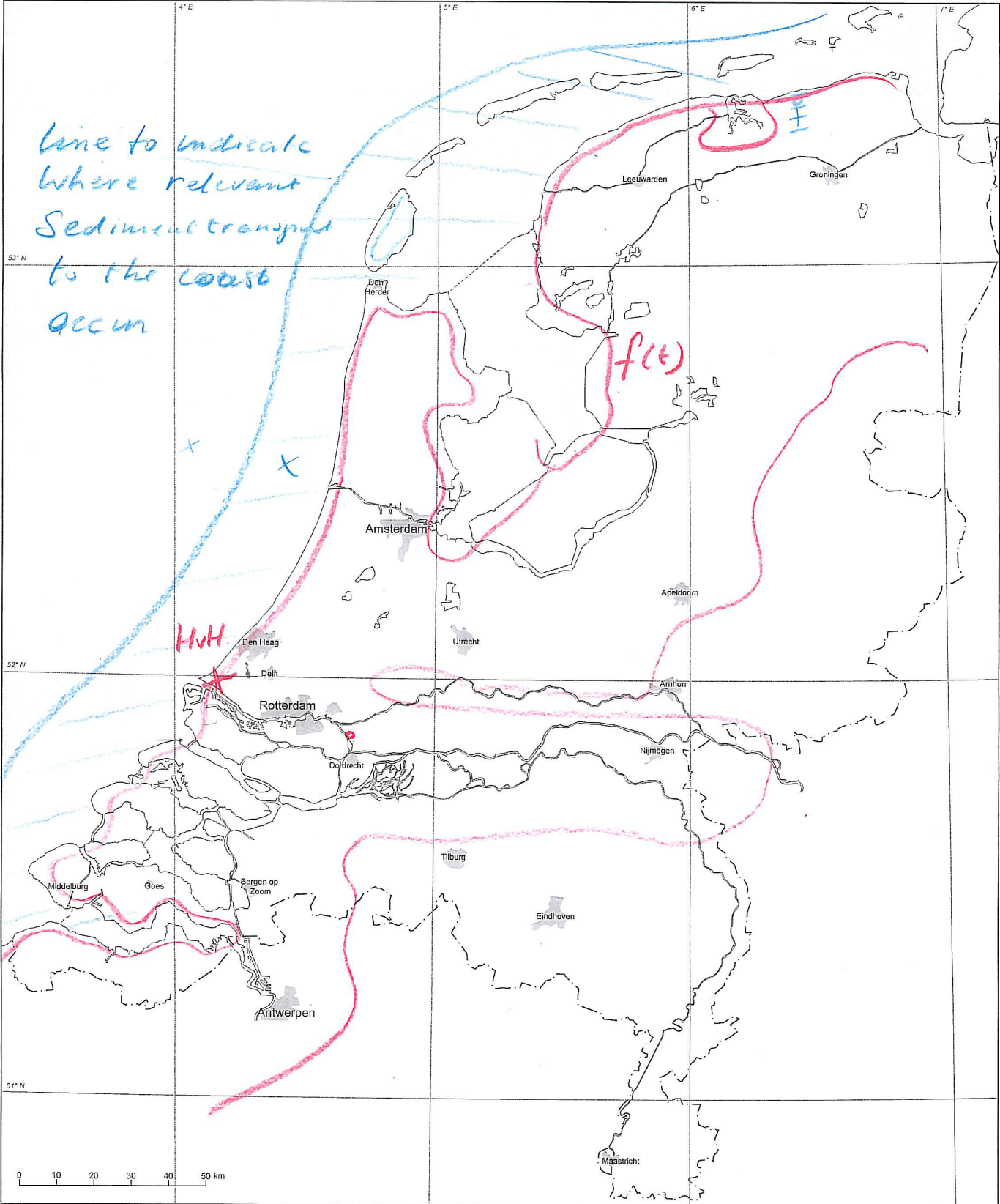
B. Réflexion sur le métier d'ingénieur

3. Il existe différents « génies » : génie civil, génie mécanique, génie industriel, génie forestier. Avez-vous déjà entendu le terme de *génie côtier* ? Celui de *génie écologique* ? Si oui, ces termes font-ils selon vous référence à une spécialisation initiale lors de la formation des élèves ingénieurs ou à une spécialisation professionnelle ? À quoi correspondent-ils exactement ?
4. J'ai lu dans le livre *L'École des Ponts 1960 – 2000, une école en mouvement*¹ que l'École des Ponts et Chaussées proposait des formations continues adressées aux ingénieurs déjà en fonction. Est-ce toujours le cas aujourd'hui ? Si oui, ces formations sont-elles adressées à tous les scientifiques ? Uniquement aux ingénieurs ? Seulement aux ingénieurs issus de l'École ?
5. Comment définiriez-vous le métier d'ingénieur aujourd'hui ?
6. Selon-vous, quels ont été les grands tournants qui ont marqué l'évolution de ce métier ?
7. Selon vous que peut-on attendre d'un ingénieur aujourd'hui ?
8. Distinguez-vous plusieurs profils d'ingénieurs ? Si oui, selon quels critères ?

C. Regard extérieur

9. Selon-vous la formation proposée à TUDelft aux Pays-Bas est-elle comparable à celle de l'École des Ponts Paristech ? Équivalente ?
10. Quelle(s) structure(s) de formation en Angleterre vous semble équivalente à l'École des Ponts Paristech ? (Imperial College ; Southampton University, autres)

¹ N. Goujon, J. Odinet, 2007, *L'École des Ponts 1960-2000, une École en mouvement*, Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 166 p.



CAHIER DES CHARGES

MARCHE PUBLIC DE PRESTATION INTELLECTUELLE

Etude de faisabilité de dépoldérisation sur le polder de Sainte Marie du Mont(Manche)

Maître d'ouvrage : Conservatoire du littoral



Un éclairage sociologique doit être apporté afin d'évaluer l'acceptabilité sociale de ce projet de dépoldérisation par tous les usagers du site (chasseurs, exploitants agricoles, grand public, élus, partenaires institutionnels...). Cette expertise devra permettre de répondre, notamment, aux questions suivantes :

- Comment ce projet est-il perçu ?
- Quels sont les arguments objectifs qui motivent l'acceptation ou le rejet d'un tel projet ?

Cet éclairage sociologique permettra en outre d'évaluer l'acceptabilité du projet et d'accompagner le choix d'aménagement auprès de l'ensemble des usagers du site.

Suite au choix du scénario par le comité de pilotage, le prestataire proposera :

- **Des outils de communication**

Selon les principaux points de blocages identifiés dans l'étude sociologique le prestataire proposera des outils de communication adaptés aux différents interlocuteurs sur le scénario qui aura été retenu.

- **Un protocole de suivi**

Des indicateurs d'évaluation opérationnels, existants ou novateurs, seront proposés.

Pour finir, le prestataire élaborera le cahier des charges de maîtrise d'œuvre en vue de la réalisation des aménagements.

4. Profils attendus

L'étude s'adresse à un regroupement de compétences dans les domaines suivants :

- Hydraulicien
- Sédimentologue
- Géographe
- Ecologue (botaniste, ornithologue, benthologue...)
- Juriste
- Sociologue
- Economiste
-

5. Délais de réalisation

12 mois

6. Déroulement de l'étude

Un comité technique et un comité de pilotage élargi seront créés.

Le comité technique sera constitué des partenaires techniques, des personnalités qualifiées et des financeurs. **Il pourra se réunir autant que de besoin, sous forme de réunions de suivi intermédiaires et de groupes de travail notamment pour la constitution des outils utiles à la prise de décision**

Références bibliographiques

A

- ABBOTT A., 2009, À propos du concept de Turning Point, in BESSIN M., BIDART C., GROSSETTI M., (dir.), *Bifurcations. Les sciences sociales face aux ruptures et à l'événement*, Éd. La Découverte, Paris, pp. 187-210.
- ABELES M., (dir.), CHARLES L., JEUDY H-P., KALAORA B., 2000, *L'environnement en perspective. Contextes et représentations de l'environnement*, L'Harmattan, Paris, 258 p.
- ABPMER, RSPB, juillet 2009, Wallasea Island Wild Coast Project – creating a new coastal nature reserve. Planning Consent Key Documents, 250 p.
- ABRIC J-C., 2003, *Pratiques sociales et représentations*, Paris, PUF, 253 p.
- ABU AISHEH Y., YATES T., GATERELL M., 2010, « Sustainable higher education buildings in a changing climate », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 163, pp. 23-30.
- ACOT P., 1988, *Histoire de l'écologie*, PUF, coll. La politique élargie, Paris, 285 p.
- ACTEON & ECOVIA, 2011, *Amélioration des connaissances sur les fonctions et usages des zones humides : évaluation économique sur les sites tests. Le cas de la lagune de la Belle-Henriette*, rapport, 42 p.
- ADDIS W., 1999, The evolution of structural engineering design procedures : a history for that skill called design, in ADDIS W. (Ed.), *Structural and Civil Engineering Design*, British Library CIP data, London, pp. 335-346.
- ADRIAANSE L., 2009, « Netherlands : room for the river ; Rijn-Maas-Schelde Delta Plan », *Water, Resource and Threat*, pp.68-75.
- ADRIAANSE L., BLAUW T., 2008, « Towards new Deltas », *Zeelandboek*, n°11, 22 p.
- AGGERI F., 2005, « L'environnement en quête de théories », *Natures Sciences Sociétés*, n°13, pp. 138-140.
- ALCAMO J., MORENO J. M., NOVAKY B., BINDI M., DEVOY R. J. N., GIANNAKOPOULOS C., MARTIN E., OLESEN J. E., SHVIDENKO A., 2007, *Europe. Climate Change 2007 : Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contributions of Working Group II to the fourth Assessment Report of the IPCC*, in PARRY M. L., CANZIANI O. F., PALUTIKOF J. P., VAN DER LINDEN P. J., HANSON C. E. (éd.), Cambridge University Press, Cambridge, pp. 541-580.
- ALLAIN Y.-M., HELIAS A., RIBIERE G., GENEVOIS R., LE DORE F., 2006, *La gestion des estuaires dans une approche communautaire*, CGPC/2005-0138-01 et IGE/05/026, 69 p.
- ALLARD P., 2006, Le rôle des ingénieurs des Ponts et Chaussées au XIXe siècle dans la gestion des crises environnementales, in BECK C., LUGINBÜHL Y., MUXART T., (Éd. scientifiques), *Temps et espaces des crises de l'environnement*, Éd. Quae, pp. 245-261.
- ALLARD P., SMADJA J., ROUE M., 2006, Rôle du politique, de l'État et des groupes sociaux dans les discours sur la crise environnementale, in BECK C., LUGINBÜHL Y., MUXART T., (Éd. scientifiques), *Temps et espaces des crises de l'environnement*, Éd. Quae, pp. 301-312.

- AMALRIC M., 2005, *Les Zones humides : appropriations et représentations. L'exemple du Nord-Pas-de-Calais*, thèse de géographie, Université de Lille, 468 p.
- ANDRE C., 2013, « Évaluation économique des dommages au bâti liés à la submersion marine à partir de données d'assurance : application aux tempêtes Johanna (2008) et Xynthia (2010) », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 67-75.
- ANSELME B., DURAND P., GOELDNER-GIANELLA L., BERTRAND F., 2008, « Impacts de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un marais maritime endigué. Le domaine de Graveyron, bassin d'Arcachon (France) », *VertigO – revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 8, n°1, pp. 1-9.
- ANONYME, 1977, « Delft Hydraulics Laboratory 1927-1977 », *Land and Water International*, n°36, pp. 20-24.
- ANONYME, 1966, « Delft Hydraulics Laboratory. Four Decades of Priceless Research », *Netherlands-American Trade*, pp. 7-9.
- ANONYME, 1919, « Les ports de l'estuaire de l'Humber », *Annales de Géographie*, t. 18, n°155, pp. 387-390.
- ANZIANI A., (dir.), 2010, *Rapport d'information n°554 sur les conséquences de la tempête Xynthia*, établi pour le Sénat, 100 p.
- ARBORIO A.-M., FOURNIER P., 2010, *L'enquête et ses méthodes. L'observation directe*, Armand Colin, coll. 128, Paris, 128 p.
- ARCADIS, 2011, *La Faute-sur-Mer, Plan Submersion Rapide. Étude diagnostic des digues de protection contre la mer et projet sommaire de réalisation*, Rapport, 51 p.
- ASPE C., JACQUE M., 2012, *Environnement et société. Une analyse sociologique de la question environnementale*, Éd. Maison des sciences de l'homme, Paris, Quae, Versailles, 279 p.
- ASSEMBLEE NATIONALE, 2010, *Rapport d'informations sur les raisons des dégâts provoqués par la tempête Xynthia*, 82 p.
- ATEN D., NIEUWJAAR M. W. C., 1997, *Beslissende jaren voor de Hondsbossche. Dijkgraaf van Foreest en de prijsvraag van 1864*, Uitwaterende Sluizen Éd., 32 p.
- ATLAS VAN DE ZUIDWESTELIJKE DELTA, 2009, Ed. Zuidwestelijke Delta, Middelburg, 111 p.
- AURROCOECHEA I., PETHICK J.S., 1986, « The Coastline ; its Physical and Legal Definition », in *IJECL*, vol 1, n°1, pp. 29-42.

B

- BAILLY A., SCARIATI R., 1990, *L'humanisme en géographie*, Paris, Economica, 172 p.
- BAILLY A., 1985, « Distances et espace : vingt ans de géographie des représentations », *L'Espace géographique*, n°3, pp. 197-205.
- BAKKER J. P., ESSELINK P., DIJKEMA K. S., DUIN (VAN) W. E., JONG (DE) D.J., 2002, « Restoration of salt marshes in the Netherlands », *Hydrobiologia*, n°478, pp. 29-51.
- BARBEL P., MOULIS D., 1994, « Technique de réhabilitation des plages et des dunes du littoral nord-méditerranéen à l'aide d'ouvrages à 'effet brise-vent' », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 243-247.
- BARBIER M., 2005, « École des Champs, École des Mines, bientôt une École des Environnement ? », *Natures Sciences Sociétés*, n°13, pp. 141-144.
- BARJOT D., DUREUIL J. (dir.), 2008, *150 ans de génie civil. Une histoire de centraliens*, PUPS, Paris, 270 p.

- BARNAUD G., FUSTEC É., 2007, *Conserver les zones humides : pourquoi ? comment ?*, Éd. Quae & Educagri, Coll. Sciences en partage, 295 p.
- BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., 2002, Avant-propos. Fernand Verger. Renouveau et unité de la géographie, in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 1-6.
- BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., 2001, *Marais maritimes d'Europe atlantique*, PUF, Paris, 294 p.
- BARRETT M. G., 1991, « Future sea-level rise : a working paper », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 90, pp. 205-208.
- BATTIAU QUENEY Y., CLUS-AUBY (Coord.), 2010, *Les ateliers de l'EUCC-France. De la connaissance des systèmes littoraux à la gestion intégrée des zones côtières*, Union des océanographes de France, Paris, 186 p.
- BAVOUX D., BAVOUX J.J., 1998, *Géographie humaine des littoraux maritimes*, Coll. Synthèse, Armand Colin, Paris, 96 p.
- BAVOUX J.- J., 1997, *Les littoraux français*, Armand Colin, Paris, 268 p.
- BAXTER P. J., 2005, « The east coast Big Flood, 31 January – 1 February 1953 : a summary of the human disaster », *Philosophical Transactions of the Royal Society*, vol. 363, n°1831, pp. 1293-1312.
- BAWEDIN V., 2013, « L'acceptation de l'élément marin dans la gestion du trait de côte : une nouvelle gouvernance face au risque de submersion ? Les cas du Lincolnshire, de l'Essex (Angleterre), du littoral picard et du bassin d'Arcachon (France) », *Annales de Géographie*, n°692, pp. 422-444.
- BAWEDIN V., HOEBLICH J. M., 2006, « Les Bas-Champs de Cayeux (Somme, France) : vers une gestion intégrée ? Enjeux et perspectives de l'ouverture à la mer d'un espace jusque-là protégé », *VertigO – la revue électronique des sciences de l'environnement*, vol. 7, n°3, pp. 1-11.
- BAX J., 2005, *No Calm Before the Storm, A landward coastal defence alternative in the Westland as guide for new spatial developments*, Graduation thesis Urbanism, TUDelft, 91 p.
- Baxter P., Haines A., Hulme M., Kovats R. S., Maynard R., Rogers D. J., Wilkinson P., 2001 *Health Effects of Climate Change in the UK*, Department of Health, 240 p.
- BEAUD S., WEBER F., 2008, *Guide de l'enquête de terrain*, Éd. La découverte, coll. Grands repères, Paris, 357 p.
- BEAUNE J.-C., 1985, L'ingénieur en question, in Thépot A., (études recueillies par), *L'ingénieur dans la société française*, Les éditions ouvrières, coll. Mouvement social, pp. 231-242.
- BECET J.-M., LE MORVANT D., (dir.), 1991, *Le Droit du littoral et de la mer côtière*, Économica, Paris, 334 p.
- BECK C., LUGINBÜHL Y., MUXART T., (Éd. scientifiques), 2006, *Temps et espaces des crises de l'environnement*, Éd. Quae, 410 p.
- BECKINSALE R. P., CHORLEY R. J., 1991, *The history of the study of landforms or the development of geomorphology, Vol. 3 : historical and regional geomorphology 1890-1950*, Routledge, London, 496 p.
- BEEN H., 2006, « Réalisation d'un îlot reposoir au sud de la digue du Ratier », *Travaux*, n°828, pp. 106-110.
- BELHOSTE B., MASSON F., PICON A., (DIR.), 1994, *Le Paris des Polytechniciens. Des ingénieurs dans la ville, 1794 – 1994*, Coll. Paris et son patrimoine, Délégation à l'action artistique de la ville de Paris, Paris, p. 299.

- BELL M. N., Barber P. C., Smith D. G. E., 1976, « The Wallasea Embankment », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 60, pp. 489-502.
- BELLESORT B., SAUZADE D., 1994, « Problématique des dispositifs de protection littoral à impacts réduits sur l'environnement », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 237-241.
- BENYUS J. M., 2011, *Biomimétisme. Quand la nature inspire des innovations durables*, Éd. Rue de l'échiquier, coll. Initial(e)s DD, Paris, 407 p.
- BERDOULAY V., 2003, « Le Play, Frédéric », in LEVY J. & LUSSAULT M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, pp. 552-554.
- BERSANI C., GERARD F., GONDRAN O., HELIAS A., MARTIN XX., PUECH P., ROUZEAU M., FLEURY B., GREFF M., BOUGERE R., 2010, *Tempête Xynthia. Retour d'expérience, évaluation et propositions d'action*, Tome 1 : rapport, 91 p.
- BERSANI C., GERARD F., GONDRAN O., HELIAS A., MARTIN XX., PUECH P., ROUZEAU M., FLEURY B., GREFF M., BOUGERE R., 2010, *Tempête Xynthia. Retour d'expérience, évaluation et propositions d'action*, Tome 2 : annexes, 65 p.
- BERTAUX D., 2006, *L'enquête et ses méthodes. Le récit de vie*, Armand Colin, coll. 128, Paris, 128 p.
- BERTHIER, 2010, *Les techniques d'enquête en sciences sociales, méthode et exercices corrigés*, Armand Colin, coll. Cursus, Paris, 352 p.
- BERTHOT A., REY V., FRAUNIE P., 2000, « Essai de Géoblocs® pour la réparation et l'entretien des digues en enrochements », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Caen, pp. 163-173.
- BERTRAND F., GOELDNER L., 1999, « Les côtes à polders : les fondements humains de la poldérisation », *L'Information géographique*, n°2, pp. 78-86.
- BERTRAND F., GOELDNER L., 1999 b, « Les côtes à polders (suite) : prégnance des conditions biophysiques et typologie », *L'Information géographique*, n°3, pp. 118-131.
- BERTIN X., LI K., ROLAND A., BREILH J.-F., CHAUMILLON E., 2012, « Contributions des vagues dans la surcote associée à la tempête Xynthia, février 2010 », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 909-916.
- BESS M., 2011, *La France vert clair. Écologie et modernité technologique 1960-2000*, Éd. Champ Vallon, Seyssel, Coll. L'environnement a une histoire, 402 p.
- BESSEMOULIN P., 2002, « Les tempêtes en France », in *Annales des Mines*, pp. 9-14.
- BESSINETON C., 1998, « La création de vasières artificielles dans l'estuaire de la Seine », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 111-121.
- BEYEN W., MEIRE P., 2003, « Ecohydrology of saline grasslands : Consequences for their restoration », *Applied Vegetation Science*, vol. 6, pp. 153-160.
- BIJKER W. E., 2007, « American and Dutch Coastal Engineering : Differences in Risk Conception and Differences in Technological Culture », in *Social Studies of Science*, vol. 37, n°1, pp. 143-151.
- BIJKER W. E., 2002, « The Oosterschelde Storm Surge Barrier. A Test Case for Dutch Water Technology, Management, and Politics », in *Society for the History of Technology*, pp. 569-584.
- BIJKER W. E., 1996, History and heritage in coastal engineering in the Netherlands, in Kraus N. C., *History and Heritage of Coastal Engineering*, ASCE, New York, pp. 390-412.
- BILLE R., 2006, « Gestion intégrée des zones côtières : quatre illusions bien ancrées », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 7, n°3, 12 p.

- BILLET P., 2009, « Aspects environnementaux du Livre vert de la Commission sur les mers et océans et de la communication sur la gestion intégrée des zones côtières », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n°Hors-série, pp. 1-9.
- BILLET P., 2007, « Les dispositifs d'intervention en vue de la réduction de l'exposition aux risques naturels et de la réparation des dommages liés à ces risques », SOUMASTRE S. (dir.) *Actes du colloque national de la Société Française pour le Droit de l'Environnement*, Biarritz, pp. 19-26.
- BILLON A., 2007, « L'histoire de l'Équipement n'est pas un long fleuve tranquille ; seconde et dernière partie : 1981-2007 », *Pour Mémoire*, n°2, pp. 7-53.
- BILLON A., 2006, « L'histoire de l'Équipement n'est pas un long fleuve tranquille ; Première partie : 1966-1981 », *Pour Mémoire*, n°1, pp. 6-31.
- BILLON A., 2004, *Étude historique sur les valeurs propres au ministère de l'Équipement. L'histoire du ministère de l'Équipement n'est pas un long fleuve tranquille*, Rapport n°2004-0105-01 du CGPC, 98 p.
- BIRD E., 1993, *Submerging Coasts: The Effects of a Rising Sea Level on Coastal Environments*, Ed. Wiley, 192 p.
- BIRD E., 1985, *Coastline changes. A global review*, Éd. John Wiley & Sons Ltd, Norwich, 219 p.
- BLANC J.J., 1982, *Sédimentation des marges continentales actuelles et anciennes*, Masson, Paris, 159 p.
- BLANC-PAMARD C., 1986, « Dialoguer avec le paysage ou Comment l'espace écologique est vu et pratiqué par les communautés rurales des Hautes Terres malgaches », in Y. CHATELIN ET G. RIOU (éd.), *Milieus et Paysages*, Masson, Paris, 1986, pp. 17-35.
- BLANCHET A., GOTMAN A., 2010, *L'enquête et ses méthodes. L'entretien*, Armand Colin, coll. 128, Paris, 128 p.
- BLOCKLEY D. I., Robertson C. I., 1984, « An analysis of the characteristics of a good civil engineer », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 77, pp. 91-94.
- BODIGUEL M., (dir.), 1997, *Le littoral, entre nature et politique*, L'Harmattan, coll. « Environnement », Paris, 233 p.
- BOILLOT G., 1979, *Géologie des marges continentales*, Masson, Paris, 139 p.
- BONA P., 1995, *Beach management manual*, Prepared Under contract to CIRIA by HR Wallingford with Postord Duvivier, 483 p.
- BONNEMAISON J., 2004, *La géographie culturelle. Cours de l'université Paris IV-Sorbonne : 1994-1997*, Éd. du CTHS, 152 p.
- BONNET E., 2004, « L'estuaire de la Seine : un territoire vulnérable face aux risques industriels », *Mappemonde*, vol. 4, n°76, p. 1-6.
- BONNOT Y., 1995, *Pour une politique globale et cohérente du littoral en France*, rapport au Premier ministre, La Documentation française, Paris, 151 p.
- BONTEMS P., ROTILLON G., 2007, *L'économie de l'environnement*, Éd. La Découverte, coll. Repères, Économie, Paris, 119 p.
- BOT L., VITALI M.-L., (coord.), 2011, *Modélisation et activités des ingénieurs*, L'Harmattan, coll. Action et Savoir, Série Rencontres, Paris, 296 p.
- BOUDES P., 2008, *L'environnement, domaine sociologique. La sociologie française au risque de l'environnement*, thèse de doctorat, 536 p.
- BOULEAU G., 2003, « Comment bâtir une prospective commune pour la gestion d'un fleuve transfrontalier ? L'exemple de l'Escaut », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 4, n°3, 12 p.

- BOULIGAND R., TABEAUD M., 2000, « Les surcotes à Brest depuis un siècle : analyse des paramètres météorologiques influents à l'échelle locale », *Norois*, n°186, pp. 201-217.
- BOUNI C., CHATELLET P., LAURANS Y., SAUZADE D., 1994, « Les enjeux socio-économiques des technologies de l'aménagement du littoral en France ; cas des ouvrages de protection contre l'érosion marine », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 291-298.
- BOURG D., 1997, *Nature et technique. Essai sur l'idée de progrès*, Hatier, Paris, 79 p.
- BOURGOIN P., 1992, *Espace né de la mer*, Éd. Sud vendéen, Luçon, 163 p.
- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1991, « La tempête, du moment de nature au spectacle de société (La place du phénomène dans le géosystème au XXI^e siècle) », *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n°3, pp. 241-251.
- BOUSQUET B., 1990, « Définition et identification du littoral contemporain », *Revue Juridique de l'Environnement*, n° 4, pp. 451-468.
- BOUSQUET B., 1990 b, « Du littoral. Essai d'identification », *Cahiers Nantais*, n° 35-36, pp. 77-98.
- BOUSQUET B., MIOSSEC A., 1990, « La représentation du littoral confrontée aux pratiques de sa défense », *Cahiers Nantais*, n° 35-36, pp. 167-194.
- BOUSQUET-BRESSOLIER C., 2008, « Études et formation des ingénieurs sous Vauban », *CFC*, n°195, pp. 15-26.
- BOUSQUET-BRESSOLIER C., 2003, « Claude Masse et la cartographie des côtes du Ponant (1688 à 1724) », *Cahiers Nantais*, n° 59, pp. 57-74.
- BOUSQUET-BRESSOLIER C., 2002, « Voyage dans le temps des cartes », in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 81-93.
- BOUTOUIL M., ABRIAK N. E., SAUSSAYE L., BENZARZOUR M., 2012, « Méthodologie SETARMS de caractérisation et de traitement des sédiments de dragage marin », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 993-1000.
- BRAY M. J., CARTER D. J., HOOKE J., 2004, *Coastal Sediment Transports Study : Report to Coastal Groups, SCOPAC*, University of Portsmouth Ed., 199 p.
- BRAY M. J., CARTER D. J., HOOKE J., 1995, « Littoral cell definition and budget for central southern England », *Journal of Coastal Research*, vol. 11, n° 2, pp. 391-400.
- BRESCH D.N., BISPING M., LEMCKE G., 2000, *Les tempêtes en Europe. Un risque sous-estimé*, Swiss Re Publishing, Zurich, 27 p.
- BRGM, 2011, *Synthèse des travaux menés sur l'observation de l'évolution du trait de côte*, Rapport final, 156 p.
- BRIAND O., GIEULLES D., 1996, « Essai de Géoblocs® pour la réparation et l'entretien des digues en enrochements », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Dinard, pp. 389-396.
- BRINK (VAN DEN) M., 2009, *Rijkswaterstaat on the horns of a dilemma*, Eburon, Delft, 335 p.
- BRINK (VAN DEN) M., MEIJERINK S., 2011, « Long term institutional continuity and change in Dutch coastal zone and river management », *LOICZ (Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone)*, n°38, pp. 140-186.
- BRUGGE (van der) R., ROTMANS J., LOORBACH D., 2005, « The transition in Dutch water management », *Regional Environmental Change*, Vol. 5, 4, pp. 164-176.
- BRUNET R., FERRAS R., THERY H., 1993, *Les mots de la géographie. Dictionnaire critique*, Éd. Reclus – La Documentation française, coll. Dynamiques de territoire, Paris, 518 p.
- BRUNO A., COQUAND R., 1982, *Le Corps des Ponts et Chaussées*, Éd. CNRS, Paris, 915 p.

- BRUUN P., 1962, « Sea-level rise as a cause of shore erosion », *Journal Waterways and Harbours Division*, vol. 88(1-3), pp. 117-130.
- BULLER H., 1995, « Le National Trust et le littoral anglais », in BODIGUEL M. (dir.), *Le littoral entre nature et politique*, L'Harmattan, Paris, pp. 127-139.
- BULTEAU T., DELVALLEE E., THIEBOT J., PEDREROS R., 2012, « Retour d'expérience sur l'utilisation des probabilités conjointes pour la caractérisation de niveaux marins à la côte », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 1-10.
- BURD F., 1995, *Managed retreat : a practical guide*, Institute of Estuarine & Coastal Studies, Hull, 26 p.
- BURNOUF J., 2006, Crise environnementale : des mots et des sources, in BECK C., LUGINBÜHL Y., MUXART T., (Éd. scientifiques), 2006, *Temps et espaces des crises de l'environnement*, Éd. Quae, pp. 341-350.
- BUUREN (VAN) A., GERRITS L., TEISMAN G. R., 2010, « Understanding and managing the Westerschelde- synchronizing the physical system and the management system of a complex estuary », *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 14, pp. 2243-2257.

C

- CABANTOUS A., LESPAGNOL A., PERON F., (dir.), 2005, *Les Français, la terre et la mer. XIII^e – XX^e siècle*, Fayard, Paris, 902 p.
- CADORET A., 2006, *Conflits d'usage liés à l'environnement et réseaux sociaux : Enjeux d'une gestion intégrée? Le cas du littoral du Languedoc-Roussillon*, thèse de doctorat, 591 p.
- CADORET, A. (Dir.), 1985, *Protection de la nature. Histoire et idéologie. De la nature à l'environnement*, L'Harmattan, Paris, 254 p.
- CALLON M., LASCOUMES P., BARTHE Y., 2001, *Agir dans un monde incertain, essai sur la démocratie technique*, Seuil, coll. La couleur des idées, Paris, 358 p.
- CAMINADE D., 1994, « Les digues à talus franchissables : conception et perspectives », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 63-66.
- CANS R., CHARVOLIN F., 2008, « Serge Antoine. Aux origines du ministère de la Protection de la nature et de l'Environnement », *Pour Mémoire*, n°5, pp. 9-18.
- CARIOLET J.-M., SUANEZ S., CAROL F., MAGNE R., 2008, « Évaluation de la technique STABIPLAGE® mise en place sur deux plages du Finistère : les Sables Blancs à Plobannalec-Lesconil-Loctudy, et Boutrouilles à Kerlouan », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 201-242.
- CARMICHAEL W. F., 1979, « The nature of civil engineering as a profession », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 66, pp. 715-731..
- CARON C., ROCHE S., 2001, « Vers une typologie des représentations spatiales », *L'Espace géographique*, n°1, pp. 1-12
- CARSON R., 2012, *Printemps silencieux*, France, Wildproject, 269 p.
- CASSIE W. F., 1969, « Report of Conference on Education and Training for Civil Engineers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 44, pp. 67-71.
- CATALIOTTI D., MICHEL P., LEVOY F., BERNARD J.-M., BERGOUGNANT G., 1998, *La défense des côtes contre l'érosion marine. Pour une approche globale et environnementale*, Ministère de l'Aménagement et de l'Environnement, 142 p.
- CATROUX F., 2007, « Planification préventive des risques, sécurité juridique et propriété privée : l'ambivalente nature des PPR », SOUMASTRE S. (dir.) *Actes du colloque*

- national de la Société Française pour le Droit de l'Environnement*, Biarritz, pp. 10-18.
- CAUDE G., 2004, « L'émergence d'un corps de doctrine technique sur l'aménagement et la défense des côtes : contribution du CETMEF et de ses partenaires », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Compiègne, pp. 777-787.
- CAUDE G., 1987, « Le risque pour le littoral de l'hexagone », *Actes du colloque Mer et Littoral, Couple à risque*, Biarritz, pp. 311-325.
- CERTAIN R., DULOU C., 2002, « Déformation de la houle sur une plage à barres : Sète (Campagne PNEC – automne 2000) », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Anglet, pp. 15-22.
- CETE OUEST, 2012, *Définition d'un programme d'actions pour la prévention des submersions marines sur le secteur de la Belle Henriette. Fascicule 2 : Stratégies d'intervention*, Étude multi-critères, document provisoire du 01 juin 2012, rapport établi pour les communes de la Faute-sur-Mer et la Tranche-sur-Mer (Vendée), p. 44.
- CETE OUEST, 2011, *Les enjeux de la zone côtière, Politiques publiques sectorielles et développement durable*, Document provisoire, 30 p.
- CGEDD, 2010, *Donner une valeur à l'environnement : la monétarisation, un exercice délicat mais nécessaire*, 84 p.
- CGDD, 2011, « Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain », *Études et documents*, n°55, 70 p.
- CHADENAS C., *L'Homme et l'oiseau sur les littoraux d'Europe occidentale*, L'Harmattan, coll. Milieux naturels et sociétés, Paris, 293 p.
- CHAPON J., 1989, *Protection et aménagement intégré du bassin de la Loire*, rapport pour le Premier Ministre, 100 p.
- CHAPON J., 1978, *Travaux maritimes, Tome I*, Éd. Eyrolles, Paris, 309 p.
- CHARLES L., KALAORA B., 2010, Protection de la nature et environnement en France : une dynamique inaboutie, in MATHIS C.-F., MOUHOT J.-F., 2013, *Une protection de l'environnement à la française ? (XIX^e-XX^e siècles)*, Champ Vallon, collec. L'environnement a une histoire, pp. 301-312.
- CHARLES L., KALAORA B., 2006, L'ingénierie écologique entre écologie, technique et aménagement : des enjeux durables, in BECK C., LUGINBÜHL Y., MUXART T., (Éd. scientifiques), 2006, *Temps et espaces des crises de l'environnement*, Éd. Quae, pp. 225-235.
- CHARLES L., KALAORA B., 2003, « Sociologie et environnement en France. L'environnement introuvable ? », *Ecologie et Politique*, n°27, pp. 31-57.
- CHARLIER R. H., CHAINEUX M.-C., MORSCOS S., 2005, « Panorama of the History of Coastal Protection », *Journal of Coastal Research*, vol. 21, n°1, pp. 79-111.
- CHARVOLIN F., 2003, *L'invention de l'environnement en France. Chroniques anthropologiques d'une institutionnalisation*, Éd. La Découverte, Paris, 133 p.
- CHAUSSADE J., DESSE R.-P., MARCADON J., PERON F., 1999, *L'espace littoral. Approche de géographie humaine*, PUR, coll. Didact Géographie, Rennes, 224 p.
- CHAUVEAU E., POTTIER P., CHADENAS C., MERCIER D., PORINET L., FEUILLET T., COMENTALE B., BLANLOEIL A., 2011, « La catastrophe Xynthia : un processus d'urbanisation littorale face à un fait de nature », *Cahiers nantais*, vol. 1.
- CHAUVEAU E., CHADENAS C., COMENTALE B., POTTIER P., BLANLOEIL A., FEUILLET T., MERCIER D., POURINET L., ROLLO N., TILLIER I., TROUILLET B., 2011, « Xynthia : leçons d'une catastrophe » *Cybergeo : European Journal of Geography*, Environnement, Nature, Paysage, article 538, pp. 2-21.

- CHAVEROT S., COHEN O., HEQUETTE A., 2005, « Évolution récente des situations de surcote sur les deux rives de la Manche orientale », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 11-14.
- CHORLEY R.J., BECKINSALE R.P., DUNN A. J., 1973, *The history of the study of landforms or the development of geomorphology, Vol. 2 : the life and work of William Morris Davis*, Routledge, London, 874 p.
- CHORLEY R.J., DUNN A. J., BECKINSALE R.P., 1964, *The history of the study of landforms or the development of geomorphology, Vol. 1 : geomorphology before Davis*, Routledge, London, 678 p.
- CLARKE F. G., 1975, « Comparison between the French and British systems for training of civil engineers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 58, pp. 103-105.
- CLAVAL P., 2008, « La géographie culturelle dans les pays anglophones », *Annales de Géographie*, n° 660-661, pp. 8-28.
- CLAVAL P. STASZAK J.-F., 2008, « Où en est la géographie culturelle ? Introduction », *Annales de Géographie*, n° 660-661, pp. 3-7.
- CLAVAL P., 2003, *Géographie culturelle. Une nouvelle approche des sociétés et des milieux*, Armand Colin, Paris, 287 p.
- CLUS-AUBY C., PASKOFF R., VERGER F., 2005, *Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du littoral. Scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100*. Synthèse, Conservatoire du littoral, 44 p.
- COENEN-HUTHER, 2005, « Heurs et malheurs du concept de rôle social », *Revue européenne des sciences sociales*, vol. XLIII, n°132, pp. 65-82.
- COHEN O., DOLIQUE F., ANTHONY E.J., HEQUETTE A., 2002, L'approche morphodynamique en géomorphologie littorale, in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 191-214.
- COLLINS A. R., 1977, « The effect of science on the role of the engineer », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 64, pp. 191-205.
- COLMARD C., ROGER P., BELORGEY M., 1998, « Digue partielle à profil optimisé : Système BYBOP », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Toulon, pp. 387-398.
- COMMISSION EUROPEENNE, 1999, *Les enseignements du programme de démonstration de la Commission européenne sur l'aménagement intégré des zones côtières*, 98 p.
- CONSERVATOIRE DU LITTORAL, 2005, *Stratégie à long terme 2005 – 2050*, 263 p.
- COOPER N. J., COOPER T., BURD F., 2001, « 25 Years of Salt Marsh Erosion in Essex : Implications for Coastal Defence and Nature Conservation », *Journal of Coastal Conservation*, n°7, pp. 31-40.
- COOSEN J., 2006, « Management of the Schelde-estuary : involvement and stakeholders », *Synopsium Elbe River*, Hamburg, 43 p.
- COOSEN J., VERHEIJEN S., 2006, « L'estuaire de l'Escaut », *Bulletin Spécial Seine-Aval*, GIP Seine-Aval, pp. 33-38.
- CORBIN A., 2000, *Les Cloches de la Terre. Paysage sonore et culture sensible dans les campagnes au XIX^e siècle*, Flammarion, Champs, 359 p.
- CORBIN A., 1988, *Le territoire du vide. L'Occident et le désir du rivage (1750-1840)*, Coll. Champs histoire, Flammarion, Paris, 407 p.
- CORLAY J.P., 1999, « Le recherche scientifique et la Gestion Intégrée des Zones Côtières », in *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n°2, pp. 158-168.
- CORLAY J.P., 1995, « Géographie sociale, géographie du littoral », in *Norois*, n°165, pp. 247-265.

- CORMIER M.-C., 2007, Gestion Intégrée des Zones Côtières : intérêt et limites, in Veyret Y., (dir.), *Dictionnaire de l'Environnement*, Armand Colin, Paris, pp. 174-175.
- CORNIC J., 1987, « La protection des plages par renfort géotextile », *Actes du colloque Mer et Littoral, Couple à risque*, Biarritz, pp. 113-114.
- COSANDEY C. (dir.), 2003, *Les eaux courantes. Géographie et environnement*, Belin, collec. BelinSup Géographie, Paris, 240 p.
- COSGROVE D., 2010, « Une division élémentaire : maîtrise de l'eau et génie paysager », *Les carnets du paysage, n°18 – Du côté des ingénieurs*, pp. 13-27.
- COSTA S., 2013, « Le risque d'érosion et de submersion de tempête : état des connaissances », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 19-29.
- COSTA S., LEBRETON P. (coord.), 2010, « Milieux littoraux : formes, processus et dynamiques », in *La gestion du trait de côte*, Éd. Quae, pp. 1-74
- COSTA S., LEVOY F., DE SAINT LEGER E., MONFORT O., DELAHAYE D., 2005, « Le fonctionnement des plages de galets de Haute-Normandie », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 14-17.
- COSTA S., CANTAT O., PIRAZZOLI P. A., LEMAITRE M., GAMAS L., DELAHAYE D., 2005, « Le risque de submersion de tempête en Manche orientale : analyse météo-marine sur la période historique récente », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 1-4.
- COSTA S., 1999, « L'accentuation du risque de submersion de tempête le long du littoral normano-picard », *Littoraux entre environnement et aménagement, actes du colloque de Caen MRSH*, pp. 113-126.
- COUR DES COMPTES, *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var – juillet 2012*, 299 p.
- COURTIER P., 2004, « La modélisation météorologique et climatique », *Actes du colloque L'art de l'ingénieur au XXI^e siècle*, Paris, pp. 32-34.
- COUSIN A., (dir.), 2012, *Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'État et les collectivités territoriales*, pour le MEDDE, 61 p.
- CROS B., 2010, « Les travaux maritimes et les ports de guerre, plus de trois siècles d'histoire de la marine », *Pour Mémoire*, n°8, pp. 8-46.
- CSEEL (COMITE SCIENTIFIQUE POUR L'ENVIRONNEMENT DE L'ESTUAIRE DE LA LOIRE), 1984, *Rapport scientifique et technique, Centre National pour l'Exploitation des Océans* (Éd.), Nantes, n° 55, Rapport Final, 158 p.
- CUBLEY CROWTHER G., 1953, « Post-War Coast Protection Works along the South-East Coast of England, which have been Undertaken by the Kent River Board as Part of their Functions in Connexion with Land Drainage », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 2, pp. 196-207.
- CUCHE D., 2004, *La notion de culture dans les sciences sociales*, Éd. La découverte, coll. Repères, Paris, 123 p.

D

- DARD O., 2009, « Décentralisation et Aménagement du territoire, de l'avant premier conflit mondial aux Années 1950 », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 15-24.
- DAUPHINE A., 2005, *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Colin, Paris, 288 p.

- DAUVIN J.-C., 2009, « Place stratégique du patrimoine naturel dans le processus de la Gestion Intégrée des Zones Côtières sur la façade atlantique », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n°Hors-série, pp. 1-20.
- DAVIS M., 1998, *Thinking like an Engineer. Study in the Ethics of a Profession*, Oxford University Press, Oxford, 247 p.
- DE BAKKER M., SIMMONEAU E., 2005, « Étude comparative. Formations d'ingénieurs en France, aux Pays-Bas et en Flandre », *Les Cahiers du Réseau Franco-Néerlandais*, n°1, pp. 1-24.
- DEBIESSE G., 2010, « Le service des Travaux maritimes de 1945 à 2005 ou Les soixante glorieuses », *Pour Mémoire*, n°8, pp. 47-65.
- DEBOUDT P., 2010, « Towards coastal risk management in France », *Ocean & Coastal management*, n°53, p. 366-378.
- DEBOUDT P., 2010 b, « Vers la mise en œuvre d'une action collective pour gérer les risques naturels littoraux en France métropolitaine », *Cybergeo*, mis en ligne le 3 mars 2010.
- DEBOUDT P., 2010 c, (éd.) *Inégalités écologiques, territoires littoraux & développement durable*, Presses universitaires du Septentrion, coll. Environnement et société, Villeneuve d'Ascq, 409 p.
- DEBOUT G., BESSINETON C., AULERT C., GALICHON P., 2006, « Conception d'îlots reposoirs pour les oiseaux marins dans l'estuaire de la Seine », *Travaux*, n°828, pp. 103-105.
- DECOURS C., 2006, *Le Port de Nantes a 3000 ans*, Giotto Éd., 114 p.
- DEFRA, 2005, *Making Space for Water. Taking forwards a New Government Strategy for Flood and Coastal Erosion Risk Management in England*, 45 p.
- DE GRAAF R. E., 2009, *Innovations in urban water management to reduce the vulnerability of cities. Feasibility, case studies and governance*, Thesis, Technische Universiteit Delft, 188 p.
- DEHOUCK A., 2006, *Morphodynamique des plages sableuses de la mer d'Iroise (Finistère)*, thèse de doctorat, Université de Bretagne Occidentale, 262 p.
- DEJEANT-PONS M., 2009, « Les activités du Conseil de l'Europe en faveur des zones côtières : gestion durable du territoire et du paysage », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n°Hors-série, pp.1-15.
- DEJONGHE E., 1985, Le rôle social de l'ingénieur, in Thépot A., (études recueillies par), *L'ingénieur dans la société française*, Les éditions ouvrières, coll. Mouvement social, pp. 278-294.
- DELBAERE D., 2010, « 'Moi, vous comprenez, c'est la technique...' », *Les carnets du paysage*, n°18 – *Du côté des ingénieurs*, pp. 113-125.
- DELEAGE J.-P., 1991, *Une histoire de l'écologie*, Éd. La Découverte, Paris, 330 p.
- DELTA COMMISSIE, 2008, *Working together with water. A living land builds for its future*, Wilfried ten Brinke (Ed.), p.134.
- DELTARES, 2009, *Enabling Delta Life. Strategic Plan for Deltares 2008-2012*, 22 p.
- DEMANGEOT J., 1998, *Les milieux « naturels » du globe*, Armand Colin, Paris, 337 p.
- DENEUX J.F., 2000, *Histoire de la pensée géographique*, Belin, coll. Atouts Géographie, Paris, 255 p.
- DESCOLA P., 2005, *Par delà nature et culture*, Gallimard, Paris 635 p.
- DESDOIGTS J.Y., 2002, « Les espaces proches du rivage de la mer : traitement géographique d'une notion juridique », in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 155-167.

- DESMAZES F., SOTTOLICHIO A., BERTIER C., LIBAUD J.-B., BECHE M., 2010, « Dynamique de la crème de vase dans l'estuaire de la Loire », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 211-218.
- DETIENNE M., 2009, *Comparer l'incomparable*, Éd. Le Seuil, coll. Points, Paris, 188 p.
- DE VRIEND H., 2004, « The Eastern Scheldt Barrier: Environmentally Friendly Engineering ? », *Proceedings of the Second International Conference of Civil Engineering, Planning and the Environment*, pp. 1269-1281.
- DIDIER C., TALIN K., (2014 à paraître), Engineer's ecoskepticism as an ethical problem, in Christensen S. H., Newberry B., Meganck M., Didier C., (eds.), *Engineering Identities, Values, Contexts and Epistemologies*, Springer, p. nc.
- DIDIER C., 2008, *Penser l'éthique des ingénieurs*, PUF, coll. Questions d'éthique, Paris, 201 p.
- DIDIER C., 2002, *Éthique et identités professionnelles des ingénieurs. Enquête sur les diplômés des écoles du Nord de la France*, vol. 1, thèse de doctorat, EHESS, Paris, 404 p.
- DI MEO G., 2008, « La géographie culturelle : quelle approche sociale ? », *Annales de Géographie*, n° 660-661, pp. 47-66.
- DI MEO G., 1998, *Géographie sociale et territoires*, Paris, Nathan, 320 p.
- DI MEO G., 1991, *L'Homme, la Société, l'Espace*, Paris, Anthropos, 319 p.
- DISCO C., 2006, « De natuur herboren. De ecologische wending in het Nederlandse waterbeheer », in *Tijdschrift voor Waterstaatsgeschiedenis*, n°9, pp. 1-18.
- DISCO C., 2005, « The Rhine : An Eco-Biography, 1815-2000 (review) », *Technology and Culture*, vol. 46, n°2, pp. 464-466.
- DISCO C., ENDE J. C. M., 2003, « 'Strong, Invincible Arguments' ? Tidal Models as Management Instruments in Twentieth-Century Dutch Coastal Engineering », *Technology and Culture*, vol. 44, n°3, pp. 502-535.
- DISCO C., 2002, « Remaking 'Nature' : The Ecological Turn in Dutch Water Management, in *Science, Technology & Human Values*, pp. 206-235.
- DIXON M., 2008, « Managed realignment – lessons from Wallasea, UK », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 161, pp. 61-71.
- DIXON M., 1996, « Sea Level Rise Preparatory Works – Experimental », *Blackwater Matters*, Issue 4, pp. 6-7.
- DOBIAS G., 2004, « Recherche et innovation, bases de la culture de l'ingénieur », *Actes du colloque L'art de l'ingénieur au XXI^e siècle*, Paris, pp. 23-24.
- DOODY J. P., 2008, *Coastal systems and continental Margins, Saltmarsh Conservation, Management and Restoration*, Springer, London, 237 p.
- DOORNKAMP J. C., 1998, « Coastal flooding, global warming and environmental management », *Journal of Environment Management*, n°52, pp. 327-333.
- D'ORGEIX É., 2010, « Du portrait à la carte ou le *lifting* de la cartographie militaire au XVII^e siècle », *Les carnets du paysage*, n°18 – *Du côté des ingénieurs*, pp. 13-27.
- DORNBUSCH U., WATT T., CUROY J., ROBINSON D.A., MOSES C., WILLIAMS R.B.G., 2005, « Sedimentary composition of beaches and short term surface sediment changes », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 25-27.
- DOWN R., STEA D., 1973, *Image & Environnement*, Edward Arnold (Éd.), Chicago, 439 p.
- DRIESSEN P., LEROY P., VIERSSEN (VAN) W., 2010, *from Climate Change to Social Change. Perspectives on science-policy interactions*, International Books, Utrecht, 180 p.

- DROIT J., GEODE, 2012, « État d'avancement d'un guide sur l'évaluation des risques sanitaires des opérations de dragage et de rejet en mer de matériaux marins et estuariens », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 1001-1008.
- DRONKERS J., 2012, « Looking back on 20 years of NCK », *Jubilee Conference Proceedings, NCK-Days*, pp. 25-29.
- DRONKERS J., 2005, *Dynamics of Coastal Systems*, World Scientific, 519 p.
- DUCROTOY J.-P., RAUSS I., SYLVAND B., 2004, « Estuaires et changements climatiques : la baie de Somme et le littoral picard », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Compiègne, pp. 733-737.
- DUPRAY S., WILLIAMS J., SIMM J., MEADON M., 2010, « Utilisation d'essences alternatives de bois durable pour les ouvrages maritimes côtiers », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 667-684.
- DURAND P., GOELDNER-GIANELLA L. (textes réunis par), 2005, *Milieux littoraux. Nouvelles perspectives d'étude*, Journées de la Commission de Géographie de la Mer et du Littoral – Dinard, 16 et 17 septembre 2004, 191 p.
- DUTHILLEUL J.-M., 2004, « L'architecte et l'ingénieur », *Actes du colloque L'art de l'ingénieur au XXI^e siècle*, Paris, pp. 42-44.
- DUVAL M., 2007, *Étude du déferlement d'une onde de Stokes et de dissipation associée par simulation directe*, thèse de doctorat, Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, 221 p.
- DUVIVIER J., 1961, « The Selsey coast protection scheme », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 20, pp. 481-506.
- DUVIVIER J., 1953, « Coast Protection : Some Recent Works on the East Coast, 1942-52 », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, n°2, pp. 510-529.

E

- EA, 2011, Corporate Plan 2011-15, 40 p.
- EA, 2008, The Humber Flood Risk Management Strategy, Summary Document : Planning for the rising tides, 9 p.
- EA, 2008 b, The Humber Flood Risk Management Strategy, Full report : Planning for the rising tides, 61 p.
- EA, 2008 c, Planning for the future. Pagham to East Head, draft coastal defence strategy, Summary document, 23 p.
- EA, 2007, Planning for the future. Pagham to East Head, Coastal Defence Strategy 2007, Initial consultation – a guide for local communities, 23 p.
- EEA, 2013, Adaptation in Europe : Addressing Risks and Opportunities From Climate Change in the Context of Socio-Economic Developments, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 136 p.
- EEA, 2012, Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012, an Indicator : Based Report, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 304 p.
- EEA, 2010 : The European Environment, State and Outlook 2010. Water Resources: Quantity and Flows, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 32 p.
- EEA, 2010 b : Tracking Progress Towards Kyoto and 2020 Targets in Europe, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 107 p.

- EEA, 2010 c : Mapping the Impacts of Natural Hazards and Technological Accidents in Europe: An Overview of the Last Decade, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 144 p.
- EEA, 2010 d: 10 messages for 2010 Marine Ecosystems, European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, 16 p.
- EEA, 2007, Climate change : the cost of inaction and the cost of adaptation, Technical report, n°13, 69 p.
- EEA, 2006, The changing faces of Europe's coastal areas, report n°6, 112 p.
- EEA, 2005, Vulnerability and adaptation to climate change in Europe, Technical report, n°7, 56 p.
- EERTMAN R. H. M., KORNMAN B. A., STIKVOORT E., VERBEEK H., 2002, « Restoration of the Sieperda Tidal Marsh in the Scheldt Estuary, The Netherlands », *Society for Ecological Restauration*, vol. 10, n°3, pp. 438-449.
- EGIS EAU, 2008, *Digue est de La Faute-sur-Mer, défense contre la mer*, Dossier préalable à l'enquête publique, déclaration d'intérêt général, 23 p.
- EUROSION, 2004, Vivre avec l'érosion côtière en Europe : Espaces et sédiments pour un développement durable. Lignes directrices pour la gestion de l'érosion côtière en Europe : Les enseignements, rapport pour la Direction générale de l'environnement de la Commission européenne, 40 p.
- EVANS I. D. L., 1957, « The place of engineering in university education », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 7, pp. 377-386.
- EVERARD M., 2009, Using science to créât a better place, Ecosystem services case studies, Environment Agency 92 p.

F

- FARNOL P., BLANC J.-P., 2010, « Restructuration du port de la Rague : une gestion environnementale exemplaire », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 929-936.
- FATTAL P., WALKER P., 2008, « Le drainage des plages : une méthode douce de stabilisation d'un littoral meuble – Étude de cas aux Sables d'Olonne (Vendée) », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 243-272.
- FATTAL P., GROVEL A., SANCHEZ M., DELANOE Y., 1994, « Problèmes d'un estuaire aménagé : la Loire vers une recherche de solutions concertées », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 127-132.
- FELONNEAU M. L., 2003, Les représentations sociales dans le champ de l'environnement, in MOSER G., WEISS K., *Espaces de vie, aspects de la relation homme-environnement*, Armand Colin, pp. 145-176.
- FERGUSON H. A., 1975, « The Netherlands Delta projects: problems and lessons » *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 54, pp. 465-478.
- FERRAS R., 1993. *Les Modèles Graphiques en Géographie*. Paris, Economica/Reclus, 112 p.
- FEUILLET T., CHAUVEAU E., POURINET L., 2012, « Xynthia est-elle exceptionnelle ? Réflexions sur l'évolution et les temps de retour des tempêtes, des marées de tempête, et des risques de surcotes associés sur la façade atlantique française », *Norois* vol. 222, n°1, p. 27-44
- FILATRE P., 1997, « Habiter les îles », *Les Cahiers du Conservatoire*, « îles de Loire », pp. 51-64.

- FLAMENT J., MIOSSEC A., REGRAIN R., FLAMENT E., 1992, *Les littoraux en France : risques et aménagement*, APHG Picardie, CRDP Picardie, 173 p.
- FLEMING J. H., McMILLAN P. H., WILLIAMS B. P., 1981, « The River Hull Tidal Surge Barrier », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 70, pp. 581-591.
- FLEURY D., 1998, « Des estuaires fabriqués », Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?, Paris, pp. 9-19.
- FLEURY D., 1997, « Des îles et des ingénieurs », *Les Cahiers du Conservatoire*, « îles de Loire », pp. 21-34.
- FORT M., REGNAULD H., 1995, « L'évolution du littoral anglais de Lyme Regis à Portsmouth : une approche par les bilans sédimentaires et les impacts de l'aménagement sur leur équilibre », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°2, pp. 115-124.
- FREMONT A., 1999, *La région, espace vécu*, Paris, Flammarion, 288 p.
- FRENCH P. W., 2004, « The changing nature of, and approaches to, UK coastal management at the start of the twenty-first century », *The Geographical Journal*, vol. 170, n°2, pp. 116-125.
- FRENCH P. W., 2001, *Coastal Defences : Processes, Problems and Solutions*, Routledge, London, 367 p.

G

- GALLENNE B., 1992, « Création d'îles artificielles dans l'estuaire de la Loire », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Nantes, pp. 467-476.
- GARDER (DE) P., 2010, « Elastocoast® - Process innovateur dans la construction d'ouvrages en encochements dans le cadre de la protection du littoral maritime et fluvial », *Actes du colloque XI^{mes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 659-666.
- GARNIER E., SURVILLE F. (dir.), 2011, *La tempête Xynthia face à l'histoire. Submersions et tsunamis sur les littoraux français du Moyen Âge à nos jours*, Éd. La Croix vif, Saintes, 174 p.
- GARNIER E., 2009, « Les tempêtes des siècles », in *L'Histoire*, n°341, pp. 40-41.
- GAUDIN J.-P., 2009, « Les enjeux généraux de la décentralisation », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 37-41.
- GAUTIER D., BENJAMINSEN T. A., 2012, *Environnement, discours et pouvoir. L'approche Political ecology*, éditions Quae, 256 p.
- GEMEENTE ROTTERDAM, 2013, Rotterdam Climate Initiative, Rotterdamse adaptatiestrategie, 135 p.
- GENET J.-P., RUGGIU F.-J., (dir.), 2007, *Les idées passent-elles la Manche ? Savoirs, Représentations, Pratiques (France-Angleterre, X^e-XX^e siècles)*, PUPS, Paris, 402 p.
- GEORG D., 2010, « Flood protection in the Netherlands », *Engineers Australia*, pp. 22-24.
- GEORGE P., VERGER F., 2004, *Dictionnaire de la Géographie*, PUF, Paris.
- GEORGE P., VERGER F., 2009, *Dictionnaire de la Géographie*, PUF, Paris.
- GERMINET R., HARISMENDY P., 2003, *La République des ingénieurs*, Éd. Jacob-Duvernet, Paris, 182 p.

- GERRITSEN H., 2005, « What happened in 1953 ? The Big Floof in the Netherlands in retrospect », *Philosophical Transaction of the Royal Society*, vol. 363, n°1831, pp. 1271-1291.
- GERSONIUS B., Ashley R., Pathirana A., Zevenbergen C., 2009, « Managing the flooding system's resiliency to climate change », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 163, pp. 15-22.
- GERVAIS M., BALOUIN Y., BELON R., CERTAIN R., ROBIN N., BERNE S., 2010, « Impacts des tempêtes sur le morphologie d'un littoral microtidal : le site du Lido de Sète à Marseillan, Golfe du Lion », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 263-274.
- GEVERS M., 1983, *La comtesse des digues*, Babel, Bruxelles, 202 p.
- GHADRI H., KHALIFA O. A., GROVEL A., 1990, « Prévision des surcotes dans l'estuaire externe de la Loire par une approche statistique », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Le Havre, pp. 75-81.
- GHEZALI M., 2009, « De la recommandation de 2002 au Livre Vert de 2006 : quelle stratégie européenne pour la gestion intégrée des zones côtières (GIZC) », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n°Hors-série, pp. 1-17.
- GIRAUD A., 1987, « Le rôle de la puissance publique dans la gestion du risque mer-littoral », *Actes du colloque Mer et Littoral, Couple à risque*, Biarritz, pp. 398-408.
- GIEC, 2009, Évaluation du coût des impacts du changement climatique et de l'adaptation en France, rapport de la 2^{ème} phase, 108 p.
- GIEC, 2007, Bilan 2007 des changements climatiques, Rapport de synthèse, 114 p.
- GOBERT J.-L., 2006, « Construction du quai extérieur en paroi moulée », *Travaux*, n°828, pp. 81-86.
- GOELDNER-GIANELLA L., BERTRAND F., 2013, BARCASUB : "La SUBmersion marine et ses impacts environnementaux et sociaux dans le Bassin d'ARCAchon (France) : est-il possible, acceptable et avantageux de gérer ce risque par la dépoldérisation ?", rapport de Synthèse du projet BARCASUB, Programme Liteau, (MEEDE), 198 p.
- GOELDNER-GIANELLA L., 2013, *Dépoldériser en Europe occidentale. Pour une géographie et une gestion intégrées du littoral*, PUS, collection Territoires en mouvements – 1, Paris, p.350 p.
- GOELDNER-GIANELLA L., 2009, « Polders du XXI^e siècle : des paysages diversifiés et mouvants », *Les carnets du paysage*, n°17 – *Des défis climatiques*, pp. 50-73.
- GOELDNER-GIANELLA L., 2008, *Dépoldériser en Europe occidentale. Les apports d'une géographie sociale de l'environnement à l'étude du milieu littoral*, HDR, Université de Nantes, 349 p.
- GOELDNER-GIANELLA L., 2000, *L'Allemagne et ses polders. Conquête et renaissance des marais maritimes*, CTHS, Paris, 254 p.
- GOELDNER-GIANELLA L., 2007, « Perceptions and Attitudes towards Depolderisation in Europe : A comparison of Five Opinion Surveys (F., U.K.) », *Journal of coastal Research*, vol. 23, n° 5, pp. 1218-1230.
- GOELDNER-GIANELLA L., 1999, « Réouverture de polders et restauration des marais salés en Angleterre », *Revue de Géographie de Lyon*, vol. 74, n°1, pp. 75-83.
- GOUJON N., ODINOT J., 2007, *L'École des Ponts. 1960-2000. Une École en mouvement*, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 166 p.
- GOULD P., WHITE R., 1974, *Mental Maps*, New York, Penguin Books, 187 p.
- GOULD P., WHITE R., 1984, *Cartes Mentales*, traduit de l'anglais par A. Perroud et M. Roten. Fribourg, Editions Universitaires de Fribourg Suisse, 169 p.

- GOURISSE D., 1999, « Histoire et avenir des ingénieurs en Europe », *Revue des Sciences morales et politiques*, n°2, pp. 1-17.
- GOURNAY B., 1964, « Un groupe dirigeant de la société française : les grands fonctionnaires », *Revue française de sciences politiques*, 14^e année, n°2, pp. 215-242.
- GRAVIER J.-F., 1947, *Paris et le désert français*, Flammarion, Paris, 317 p.
- GRELON A., 2011, « Un bref aperçu historique ? », *Cadres*, n°443 - *Ingénieurs, une carte d'identité*, pp. 49-56.
- GRELON, 2000, « Du bon usage du modèle étranger : la mise en place de l'École centrale des arts et manufactures », *Actes du colloque L'École polytechnique et l'international*, n°26, pp. 1-5.
- GROVEL A., 1992, « Quel avenir pour les travaux de génie côtier ? », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Nantes, pp. 499-503.
- GROVEL A., QUINAOU P., 1990, « Didacmer », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Le Havre, pp. 196-202.
- GUEBEN-VENIERE S., 2013, « Évolution de la formation des ingénieurs du génie civil et conséquences sur leurs pratiques de gestion du littoral », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 87-101.
- GUEBEN-VENIERE S., 2011, « How can mental maps, applied to the coast environment, help in collecting and analyzing spatial representations ? », *EchoGéo*, n°17, 7 p.
- GUEDEZ A., LUSSAULT M., 2003, « Sociologie (Géographie et) », in LEVY J. & LUSSAULT M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, pp. 858-861.
- GUICHARD O., 1965, *Aménager la France*, Laffont, Gonthier, coll. inventaire de l'avenir Paris, Genève, 246 p.
- GUILCHER A., 1990, « Vers une philosophie des rivages », *Cahiers Nantais*, n°35-36, pp. 3-15.
- GERRITSEN, H., 2005, « What happened in 1953? The Big Flood in the Netherlands in retrospect », *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, vol. 363, pp. 1271-1291.
- GUILCHER A., 1983, *Géographe de la mer*, Éd. Godard, A., Vanney J.R., Verger F., Coll. Paradigme Terre & Sociétés, Librairie Minard, 532 p.
- GUILCHER A., 1965, *Précis d'hydrologie marine et continentale*, Masson, Paris, 389 p.
- GUILCHER A., 1954, *Morphologie littorale et sous-marine*, Presses Universitaires de France, coll. Orbis, Paris, 216 p.
- GUILCHER A., 1953, « les inondations marines du 31 janvier et du 1^{er} février 1953 sur les bords de la mer du Nord », *Revue pour l'étude des calamités*, tome XIII, n°30-31, pp. 3-19.
- GUILCHER A., 1951, « La mer fait reculer les côtes », *Atomes. Tous les aspects scientifiques d'un nouvel âge*, n°132, pp. 293-296.
- GUILCHER A., 1951, La formation de la mer du Nord, du Pas de Calais et des plaines maritimes environnantes, 15 p. (dactylographié).
- GUILLOT P., LAIDET D., 2013, « Le rôle de l'assureur face aux catastrophes naturelles », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 58-64.
- GUINEBERTEAU T. MEUR-FEREC C., TROUILLET B., 2006, « La gestion intégrée des zones côtières en France : mirage ou mutation stratégique fondamentale ? », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 7, n°3, pp. 1-14.

GUMUCHIAN H., 1991, *Représentations et Aménagement du Territoire*, Paris, Anthropos-Economica, 143 p.

GUY C., 2008, *Aménager les territoires. De la loi au contrat*, PUR, coll. Didact Géographie, Rennes, 225 p.

H

HAMILTON J. M., 2007, « Coastal landscape and the hedonic price of accommodation », *Ecological economics*, n°62, pp. 594-602.

HAMM L., 2012, « Maritime », Artélia Report 2011-2012 Research & Development, 1 p.

HAMM L., DELOUIS A., VIEILLARD R., 2006, « Les études préliminaires de Port 2000 », *Travaux*, n°828, pp. 33-40.

HAMM L., CAPOBIANCO M., DETTE H. H., LECHUGA A., SPANHOFF R., STIVE M. J. F., 2002, « A summary of European experience with shore nourishment », *Coastal Engineering*, n°47, pp. 237-264.

HAMM L., LAGROY DE CROUTTE E., LEDOUX S., 2002, « Réhabilitation d'écosystèmes estuariens : deux applications pratiques de Génie Ecologique », *Actes du colloque des VII^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil*, Anglet, pp. 533-540.

HAMM L., VIGUIER J., 1998, « Les aménagements modifiant le fonctionnement des estuaires », Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?, Paris, pp. 20-28.

HAMM L., 1996, History of coastal engineering in France, in Kraus N. C., *History and Heritage of Coastal Engineering*, ASCE, New York, pp. 142-168.

HANSON H., BRAMPTON A., CAPOBIANCO M., DETTE H. H., HAMM L., LAUSTRUP C., LECHUGA A., SPANHOFF R., 2002, « Beach nourishment projects, practices, and objectives – a European overview », *Coastal Engineering*, n°47, pp. 81-111.

HANSON H., KRAUS N. C., 1989, *GENESIS – Generalized Model for Simulating Shoreline Change, Vol. 1 : reference Manual and Users Guide*, Technical Report CERC-89-19, US Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, 247 p.

HARTLEY L., PONTEE N., 2008, « Assessing breaching risk in coastal gravel barriers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 161, pp. 143-150.

HASLETT S.K., 2008, *Coastal Systems*, Routledge, London, 218 p.

HEIP C., LAANE R., 2011, « Aspects of coastal research in contribution to LOICZ in the Netherlands and Flanders (2002-2010) », *LOICZ Research and Studies*, Geesthacht, Germany, n°38, p. 184.

HENRIQUE K. P., 2012, « Housing responses to climate change : Analyzing architectures of transition in flood-prone zones », *Nature of spatial practices*, pp. 131-139.

HEQUETTE A., 1999, « L'influence de la morphologie côtière sur les transports sédimentaires vers le large pendant les tempêtes », *Littoraux entre environnement et aménagement, actes du colloque de Caen MRSH*, pp. 33-40.

HERMANS L. M., 2008, « Exploring the Promise of actor Analysis for Environmental Policy Analysis : Lessons from Four Cases in Water Resources Management », *Ecology and Society*, vol. 13, n°1, 21 p.

HEYNES R. F., 1967, « Difficulties of communication in management », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 36, pp. 923-925.

- HILLEN, R., ROELSE, P., 1995, « Dynamic preservation of the coastline in the Netherlands », *Journal of Coastal Conservation*, vol. 1, pp. 17-28.
- HOOKE J., 1998. *Coastal Defence and Earth Sciences Conservation*, The Geological Society, London, 270 p.
- HOUDARD M., 2003, *Entre terre et mer, les 250 ans du littoral*, IFREMER, Direction de l'Environnement et de l'Aménagement du Littoral, 9 p.
- HUISMAN P., 2006, *Water in the Netherlands, managing checks and balances*, Ed. Netherlands Hydrological Society (NHV), 132 p.
- HUITEMA D., MEIJERINK S., 2010, « Realizing water transitions : the rôle of Policy entrepreneurs in water Policy change », *Ecology and Society*, vol. 15, n°2, 26 p.

I

- ICE, 2010, Facing up to rising sea-levels: retreat? Defend? Attack? The future of our coastal and estuarine cities, 15 p.
- ICE, 2002, *Coastal Defence*, A. H. Brampton Ed., 104 p.
- ICE, 2002, Biographical Dictionary of Civil Engineers, vol. 1 – 1500-1830, Thomas Telford Ed., 897 p.
- IECS, 1994, Humber Estuary & Coast, 48 p.
- IECS, 1994 b, Humber Estuary & Coast, Management Issues, 48 p.
- IEDEMA C.W., ADRIAANSE L.A., KUIJPERS J., 1998, Water management in the Dutch Delta : back to the future part IV, in RWS, *Dealing with nature in deltas*, Nijland H.J., Lelystad, pp. 37-51.
- INGLIS C. C., KESTNER F. J. T., 1958, « The long-term effects of training walls, réclamation, and dredging on estuaries », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 9, pp. 193-215.
- IPCC, 2014, *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*, IPCC Working Group II Contribution to AR5.
- IPCC, 2014 b, *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*, IPCC, Working Group III Contribution to AR5.
- IPCC, 2013, *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, IPCC Working Group I Contribution to AR5, 1535 p.
- IPEF, 2011, Actes du colloque, *L'ingénieur, la décision et l'action publique*, Paris, 36 p.

J

- JACQUES G., 2010, Qu'est-ce que l'écologie ? Une définition scientifique, Vuibert, Paris, 120 p.
- JAUD M., DELACOURT C., ALLEMAND P., GRANDJEAN P., AMMANN J., CANCOUËT R., DESCHAMPS A., VARREL E., CUQ V., SUANEZ S., 2010, « DRELIO : Un drone hélicoptère pour le suivi des zones littorales », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 485-496.
- JELLETT J. H., 1968, « Education and training of civil engineers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 42, pp. 153-168.

- JENKINS G. J., PERRY M. C., PRIOR M. J., 2008, *The climate of the UK and recent trends*, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- JERVEY M. T., 1988, Quantitative geological modeling of siliciclastic rock sequence and their seismic expression, in Wilgus C. K., Histings B. S., Kendall C. A., *et al.*, *Sea level changes: an integrated approach*, SEPM Special Publication n° 42, p. 47-69.
- JOLY F., 1997, *Glossaire de Géomorphologie*, Armand Colin, Paris, 326 p.
- JONGE (DE) V.N., JONG (DE) D.J., 2002, « Ecological restoration in coastal areas in the Netherlands : concepts, dilemmas and some examples », *Hydrobiologia*, n°478, pp. 7-28.
- JULIEN B., 1995, « La protection du littoral dans l'Union Européenne », *Les Cahiers du Conservatoire du littoral*, n°8, pp. 131-136.

K

- KAIJSER A., 2002, « System Building from Below. Institutional Change in Dutch Water Control Systems », *Technology and Culture*, vol. 43, n°3, pp. 521-548.
- KALAORA B., 2010, Rivages en devenir. Des horizons pour le conservatoire du littoral, La documentation Française, 279 p.
- KALAORA B., 1998, Au-delà de la nature, l'environnement. L'observation sociale de l'environnement, L'Harmattan, Paris, 200 p.
- KALAORA B., 1993, *Le musée vert*, Collection environnement, L'Harmattan, Paris, 293 p.
- KALAORA B., SAVOYE A., 1987, *Les Inventeurs oubliés : Frédéric Le Play et ses continuateurs*, Marseille, Paris, CERFISE et Ministère de l'urbanisme, du logement et des transports, Délégation à la recherche et à l'innovation, 316 p.
- KALAORA B., SAVOYE A., 1986, La forêt pacifiée. Les forestiers de l'École de Le Play, experts des sociétés pastorales, L'Harmattan, Paris, 132 p.
- KALAORA B., SAVOYE A., 1985, La protection des régions de montagnes aux XIX^e siècle : forestiers sociaux contre forestiers étatistes, in CADORET, A. (Dir.), 1985, *Protection de la nature. Histoire et idéologie. De la nature à l'environnement*. Paris, L'Harmattan, Paris, pp. 6-23.
- KALAORA B., 1981, Le musée Vert, radiographie du loisir en forêt, Anthropos, Paris, 304 p.
- KARSTENS S., 2009, Bridging boundaries. Making scale choices in multi-actor Policy analysis on water management, IOS Press, 316 p.
- KEMP P. H., 1962, « A model study of the behaviour of beaches and groynes », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 22, pp. 191-210.
- KERVELLA S., SOTTOLICHIO A., MANEUX E., BERTIER C., LIBAUD J.-B., 2012, « Dynamique sédimentaire des vasières intertidales de l'estuaire de la Loire », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 307-314.
- KNAFOU R., 2000, « Scènes de plage dans la peinture hollandaise du XVII^e siècle : l'entrée de la plage dans l'espace des citoyens », in *Mappemonde*, n°58, vol. 2, pp. 1-5.
- KNAFOU R., STOCK M., 2003, « Littoral », in *Dictionnaire de la Géographie et de l'Espace des Sociétés*, Belin, Paris, pp. 571-572.
- KOLBUSZEWSKI J., 1973, « Abstract sciences, engineering and human environment planning », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 55, pp. 557-579.
- KONINGSVELD (VAN) M., MULDER J. P. M., STIVE M. J. F., VALK (VAN DER) L., WECK (VAN DER) A.W., 2007, « Living with Sea-Level Rise and Climate Change : A Case Study of The Netherlands », *Journal of Coastal Research*, vol. 24, n°0, pp. 395-407.

KOVARIK J.-B., 1998, « La vérification des ouvrages maritimes aux états-limites », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Toulon, pp. 377-385.

KURTZ J.-P., 1997, *Dictionnaire du génie civil*, Conseil international de la langue française, PUF, Paris, p. 1587.

L

LABOULAIS M., 2009, *Etat des lieux et gestion des polders de Sainte Marie du Mont*, Mémoire de Master, Université de Bretagne occidentale, 149 p.

LACAIVE J.-M., 2006, « Enjeux et développement du conteneur au Port du Havre », *Travaux*, n°828, pp. 18-22.

LACOSTE Y., 1999, « Littoral, frontières marines », *Hérodote*, n°93, 192 p.

LAFFONT H., 2006, « Un ingénieur est-il bien *an engineer* ? Contribution à l'analyse contrastive du milieu professionnel de l'ingénieur en France, au Royaume-Uni et aux Etats-Unis, *ASp*, n° 49-50, varia, pp. 1-9.

LAMB H. H., 1991, *Historic storms on the North Sea, British Isles and Northwest Europe*, Cambridge University Press, 204 p.

LAMIRAND, G., 1954, *Le rôle social de l'ingénieur*, Plon, Paris, 316 p.

LANGDON J., 1957, « Notes on the repair and reconstruction of an estuarial embankment breached by the Storm surge of 1953 », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 6, pp. 344-346.

LANGUMIER J., 2008, « Genèse du risque et mémoire de la catastrophe : une approche ethnographique des inondations dans les Basses Plaines de l'Aude », *Pour Mémoire*, n°4, pp. 6-25.

LASCOUMES P., 1994, *L'éco-pouvoir, environnements et politiques*, Editions La Découverte, 318 p.

LASSERRE H., 1986, L'évolution du rôle et de la conscience des ingénieurs dans la grande industrie lyonnaise, in Thépot A., (études recueillies par), *L'ingénieur dans la société française*, Les éditions ouvrières, coll. Mouvement social, pp. 135-140.

LASSERRE H., 1987, *Le pouvoir de l'ingénieur*, L'harmattan, coll. Logiques Sociales, Paris, 181 p.

LEBECQ S., 2011, *Hommes, mers et terres du Nord au début du Moyen-Âge. Volume 1 : Peuples, cultures, territoires*, Septentrion Presses Universitaires, 271 p.

LE BOURHIS J.-P., 2009, « DRE, DRAE, DIREN, DREAL : éléments pour une histoire de l'administration territoriale de l'Environnement en France », *Pour Mémoire*, n°6, pp. 9-23.

LEBRETON T., KOWALSKI M., 2006, « Le reposoir sur dune. La phase de travaux entre octobre 2001 et février 2002 », *Travaux*, n°828, pp. 101-102.

LEBUNETEL J., FARNOLE P., 2010, « Impact de digues ISC sur le dynamique littorale : Étude de cas des plages de Saint-Hilaire de Riez en Vendée », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 693-748.

LECOEUR Y., 2011, « La Loire moyenne naviguée au XIXe siècle : représentations, réglementation et aménagement », *VertigO – La revue électronique en sciences de l'environnement*, Hors série 10, 10 p.

LE CORRE L., 1998, « Le droit français des estuaires », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 45-55.

- LEDoux B., 1995, *Les catastrophes naturelles en France*, Patot Éd., Paris, 455 p.
- LEDoux L., CORNELL S., O'RIORDAN T., HARVEY R., BANYARD L., 2004, « Towards sustainable flood and coastal management : identifying drivers of, and obstacles to, managed realignment », *Land Use Policy*, n°22, pp. 129-144.
- LEFEUVRE J.-C., BOUCHARD V., 2002, « From a civil engineering project to an ecological engineering project : An historical perspective from the Mont Saint-Michel bay (France) », *Ecological Engineering*, n°18, pp. 593-606.
- LEGAL P.-Y., 2012, « Droit de propriété et maîtrise des « sols environnementaux ». Quelques enseignements tirés de la tempête Xynthia », *Noroi*, n°222, pp. 79-89.
- LEGGETT D. J., COOPER N., HARVEY R. 2004, *Coastal and estuarine managed realignment – design issues*, Ciria, London, 214 p.
- LE HERICY J., 1998, « Le point de vue du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (Diren), l'évolution naturelle et artificielle des estuaires français », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 59-62.
- LE HIR P., 2000, « Effets à attendre de l'élévation du niveau marin dans les estuaires : cas de la Seine et de la Loire », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 34-39.
- LEJEUNE M., 2000, *Le degré d'artificialisation des berges de la partie ligérienne et estuarienne de la Loire entre Le Cellier et le pont de Saint-Nazaire*, rapport de stage de Maîtrise de géographe IGARUN, Université de Nantes, 103 p.
- LE LOUARN P., 2012, « Le droit dans la tempête », in *Noroi*, n°222, p. 62-77.
- LEMAITRE D., 2011, Problématisation et modélisation dans la formation des ingénieurs, in Bot L., Vitali M.-L. (dir.), *Modélisation et activités des ingénieurs*, L'Harmattan, Série Rencontres, pp. 235-256.
- LE MAREC Y., 2003, Le bac ou le chenal ? Identité locale contre projet d'État dans l'estuaire de la Loire, in PETIT J.-G., SANGUIN A.-L., *Les fleuves de France atlantique. Identités, espaces, représentations, mémoires*, L'Harmattan, série Études culturelles et régionales », coll. Géographie et Cultures, Paris, p. 101-114.
- LE MORVAN D., 2009, « Livre vert et développement durable des zones côtières », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n°Hors-série, pp. 1-10.
- LENGEREAU E., 2007, « Aux origines du ministère de l'Environnement et du Cadre de vie (1966-1978) », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 13-16.
- LEONARD J.-L. (dir.), 2010, Rapport d'information sur les raisons des dégâts provoqués par la tempête Xynthia, pour l'Assemblée nationale, rapport n°2697, 82 p.
- LERAT F., 2006, « Port 2000. Une opportunité pour la réhabilitation de l'estuaire de la Seine », *Travaux*, n°828, pp. 41-45.
- LERAT J.-P., 2011, « La technique est-elle soluble dans le management ? », *Cadres*, n°443 - *Ingénieurs, une carte d'identité*, pp. 19-26.
- LERAY G., 1998, « Estuaire de la Loire et île de la Maréchale », Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?, Paris, pp. 105-110.
- LEROY P., 2004, « Sciences environnementales et interdisciplinarité : une réflexion partant des débats aux Pays-Bas », *Natures Sciences Sociétés*, n°12, pp. 274-284.
- LESSART C., 2012, « Modèles d'universités et conceptions de la qualité : pour une université plurielle et capable d'en témoigner », intervention du 29 novembre 2012 pour l'Université de Québec.

- LETOURNEUX F., 1998, « Le point de vue du Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres », Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?, Paris, pp. 66-68.
- LEVACHER D., PIOLINE M., SANCHEZ M., TISON E., R., 2012, « A civil engineering application in sediment management : A confined embankment in Cherbourg harbour », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 1037-1048.
- LEVEQUE C., MOUNOLOU J.-C., 2004, « L'institut français de l'environnement en question : déceptions et espoirs », *Natures Sciences Sociétés*, n°12, pp. 325-326.
- LEVEQUE C., LEEUW (VAN DER) S., 2004, *Pour une approche soio-écologique de l'environnement*, Elsevier, Masson, Série Environnement, 324 p.
- LEVY J., 2003, « Aménagement du territoire », in LEVY J. & LUSSAULT M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, pp. 64-68.
- LEVY J. & LUSSAULT M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, 1033 p.
- LICHTENBERGER Y., 2011, « L'ingénieur, metteur en œuvre du changement », *Cadres*, n°443 - *Ingénieurs, une carte d'identité*, pp. 7-15.
- LINTSEN H., 2002, « Two Centuries of Central Water Management in the Netherlands », *Technology and Culture*, vol. 43, n°3, pp. 549-568.
- LIVRE VERT, 2007, *Adaptation au changement climatique en Europe: les possibilités d'action de l'Union européenne*. Livre vert de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social et au Comité des régions, 32 p.
- LOCK M. C., GEEST (VAN DER) H. G., LAZONDER C., 2009, « Early Colonization of Algal Communities on Polyurethane Bonded Aggregate : a Field and Laboratory Study », *Journal of Coastal Research*, Special Issue, n°56, pp. 438-442.
- LOES NILLESEN A., SINGELENBERG J., 2011, *Amphibious Housing in the Netherlands*, NAI Uitgevers Publishers, Rotterdam, 127 p.
- LOMBORG B., 2004, *L'écologiste sceptique. Le véritable état de la planète*, Éd. le cherche midi, Paris, 743 p.
- LOUATI M., ZARGOUNI F., 2009, « Modélisation topo-bathymétrique et transit sédimentaire. Exemple des plages sableuses de la baie de Tunis, Nord-Est de la Tunisie », *Géomorphologie*, vol. 3, n° varia, pp. 211-222.
- LOWE, J. A., HOWARD, T., PARDAENS, A., TINKER, J., HOLT, J., WAKELIN, S., MILNE, G., LEAK E, J., WOLF, J., HORSBURGH, K., REEDER, T., J ENKINS, G., RIDLEY, J., DYE, S., BRADLEY, S., 2009, *UK Climate Projections science report: Marine and coastal projections*, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- LOZACHMEUR O., 2009, « Rappel des principes de la 'gestion intégrée des zones côtières' et des axes de la Recommandation du 30 mai 2002 », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n° Hors-série 5, pp. 1-12.
- LOZACHMEUR O., 2005, « Le concept de 'gestion intégrée des zones côtières' en droit international, communautaire et national », *Droit maritime français*, n° 657, pp. 259-277.
- LOZACHMEUR O., 2004, *La consécration du concept de gestion intégrée des zones côtières en droit international, communautaire et national*, Thèse de doctorat, Sous la direction d'A-H.Mesnard, Université de Nantes, 837 p.
- LUMBROSO D. M., VINET F., 2011, « A comparison of the causes, effects and aftermaths of the coastal flooding of England in 1953 and France in 2010 », *Natural Hazards ans Earth System Sciences*, n°11, pp. 2321-2333.

LUSSAULT M., THIBAUT S., 2003, « Aménagement (Géographie et) », in LEVY J. & LUSSAULT M., *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, pp. 61-64.

LYNCH K., 1960, *The Image of the City*, Cambridge, The MIT Press, 194 p.

M

MC KENNA J., QUINN R.J., DONNELLY D.J., COOPER J.A.G., 2008, « Accurate Mental Maps as an Aspect of Local Ecological Knowledge (LEK) : a Case Study from Lough Neagh, Northern Ireland », *Ecology and Society*, n°13, pp.1-23.

MAIRE D., VANDENBROECK J., 2006, « Les travaux de construction des digues de protection et accès maritimes (DPAM) », *Travaux*, n°828, pp. 57-69.

MAIRE C., 1994, « Le Schéma de Mise en Valeur de la Mer du bassin de Thau et de sa façade maritime », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 221-225.

MALVAUD F., 1998, « Le point de vue des associations agréées au niveau de l'environnement, estuaires : un enjeu environnemental majeur », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 85-90.

MANCEBO F., 2003, *Questions d'environnement pour l'aménagement et l'urbanisme*, Nantes, Éditions du temps, 285 p.

MANNONI P., 2008, *Les représentations sociales*, PUF, coll. Que sais-je ?, Paris, 127 p.

MANOUJIAN S., 1994, « Le rechargement des plages », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 261-269.

MARCADON J., 1999, *L'espace littoral. Approche de géographie humaine*, PUR, Rennes, III p.

MARCHAND J., 1998, « Estuaire de la Loire : les îles artificielles de Bilho, historique et conséquences sur l'environnement », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 157-168.

MARIE M., 1986, *Penser son territoire*, in AURIAC F., BRUNET R., *Espace, jeux et enjeux*, Fayard, Paris, pp. 141-158.

MARCHAND J., GINARD N., SAURIAU P.-G., 1997, « III. Ressources vivantes », in *Rapports de synthèse de l'APEEL*, Nantes, 67 p.

MARION L., 1998, « La description des zones d'intérêt biologique des estuaires », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 29-44.

MARSHALL H., SIMPSON M., WHITE N., (ROYAL HASKONING), 2001, *Environmental Statement – Abbots Hall, Final Report*, (Environment Agency) 138 p.

MARSHALL H., (ROYAL HASKONING), 2001 b, *Landscape and Visual Impact Assessment. Sustainable Flood Defences. Managed Realignment at Abbots Hall, Essex*, (Environment Agency) 41 p.

MASSOUD Z., PIBOUBES R., 1994, *L'Atlas du littoral de France*, Éd. de Mouza, 331 p.

MATHIS C.-F., MOUHOT J.-F., 2013, *Une protection de l'environnement à la française ? (XIX^e-XX^e siècles)*, Champ Vallon, collec. L'environnement a une histoire, 340 p.

MATHIS C.-F., 2010, *In Nature We Trust. Les paysages anglais à l'ère industrielle*, PUPS, Paris, 685 p.

- MATTHEWSON T., 2007, « Integrating environmental issues in estuary flood plans », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 160, pp. 105-111.
- MAZZOTTI M., 2002, « Le savoir de l'ingénieur », *Actes de la recherche en sciences sociales*, vol. 141-142, pp. 86-97.
- MCNEILL J. R., 2010, *Du nouveau sous le soleil. Une histoire de l'environnement mondial au XX^e siècle*, Éd. Champ Vallon, Seyssel, Coll. L'environnement a une histoire 517 p.
- MC KENNA J., QUINN R.J., DONNELLY D.J., COOPER J.A.G., 2008, Accurate Mental Maps as an Aspect of Local Ecological Knowledge (LEK) : a Case Study from Lough Neagh, Northern Ireland, *Ecology and Society*, n°13, p.1-23.
- MEEDDAT, 2008, *Quinze expériences de réduction de la vulnérabilité de l'habitat aux risques naturels. Quels enseignements ?*, *Retour d'expériences, risques naturels majeurs*, DGPR, EPL, 76 p.
- MEEDDM, 2010, *La gestion du trait de côte*, éditions Quae, coll. Savoir faire, Versailles, 290 p.
- MEEDDM, 2009, *Plan national d'adaptation au changement climatique*, Dossier de presse, 41 p.
- MEDDTL, 2011, *Plan national d'adaptation au changement climatique 2011-2015*, 187 p.
- MEDDTL, 2011 b, *Impacts à long terme du changement climatique sur le littoral métropolitain*, Études & Documents, CGDD, n°55, octobre 2011, 70 p.
- MEIJER H. (dir.), 1996, « Water in, around and under the Netherlands », *IDG-Bulletin 1995/96*, 56 p.
- MEIJER H. (dir.), 1994, « Pays-Bas 1944-1994 », *IDG-Bulletin 1994*, 51 p.
- MEIJERINK S., HUITEMA D., 2010, « Policy Entrepreneurs and Change Strategies : Lessons from sixteen Case Studies of Water Transitions around the Globe », *Ecology and Society*, vol. 15, n°2, 21 p.
- MEIJERINK S., 2008, « Explaining continuity and change in international policies : issue linkage, venue change, and Learning on policies for the river Scheld estuary 1967-2005 », in *Environment and Planning*, vol. 40, pp. 848-866.
- MEIJERINK S., 2005, « Understanding Policy stability and change. The interplay of advocacy coalitions and epistemic communities, Windows of opportunity, and Dutch coastal flooding Policy 1945-2003 », in *Journal of European Public Policy*, pp. 1060-1077.
- MESNARD A.-H., 2009, « L'approche stratégique française des instruments de la gestion intégrée des Zones côtières », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n° Hors-série 5, pp. 1-13.
- MERCKELBAGH A., 2009, *Et si le littoral allait jusqu'à la mer ! La politique du littoral sous la V^e République*, Éditions Quae, Versailles, 352 p.
- MERMET L., BILLE R., LEROY M., NARCY J.-B., POUX X., 2005, « L'analyse stratégique de la gestion environnementale : un cadre théorique pour penser l'efficacité en matière d'environnement », *Natures Sciences Sociétés*, n°13, pp. 127-137.
- MEUR-FEREC C., 2009, « La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n° Hors-série 5, pp. 1-18.
- MEUR-FEREC C., MOREL V., 2004, « L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques », *Natures, Sciences, Sociétés*, n°12, pp. 263-273.
- MICAËLLI J.-P., BONJOUR E., DENIAUD S., LOISE D., 2011, L'ingénierie système fondée sur les modèles, in Bot L., Vitali M.-L. (dir.), *Modélisation et activités des ingénieurs*, L'Harmattan, Série Rencontres, pp. 125-144.

- MIGNIOT C., LE HIR P., 1997, « I. Hydrosédimentaire », in *Rapports de synthèse de l'APEEL*, Nantes, 83 p.
- MIOSSEC A., 2009, *Les littoraux. Entre nature et aménagement*, Armand colin, coll. Campus, Paris, 192 p.
- MIOSSEC A., 2007, Gestion Intégrée des zones côtières (GIZC), in VEYRET Y. (dir.), *Dictionnaire de l'Environnement*, Armand Colin, Paris, pp. 173-174.
- MIOSSEC A., 2007, Développement portuaire et environnement, in VEYRET Y. (dir.), *Dictionnaire de l'Environnement*, Armand Colin, Paris, pp. 98-99.
- MIOSSEC A., 2004, « Littoral », *Hypergé. Français – Géographie - Concept*, article en ligne : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article205>, pp. nd, consulté pour la dernière fois le 17/04/2014.
- MIOSSEC A., 2000, « Impacts socio-économiques de l'élévation du niveau marins : le cas de la France », in PASKOFF R., Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses, 12-13 Octobre, pp. 40-47.
- MIOSSEC A., 1999, « La France a-t-elle construit une politique de gestion intégrée de son littoral ? », in *Bulletin de l'Association des Géographes Français*, n°2, pp. 212-220.
- MIOSSEC A., 1995, « Le traitement du recul de la ligne de rivage en France : pratiques sociales autour d'un problème de société », in *Norois*, n°165, pp. 153-172.
- MIOSSEC A., 1993, La gestion de la nature littorale en France Atlantique. Etude comparative (Royaume-Uni, Pays-Bas, Espagne, Etats-Unis), Doctorat d'Etat, Université de Bretagne Occidentale, 3 vol., 1993, 469 p.
- MIOSSEC A., 1990, « L'évolution des milieux naturels fragiles du littoral », in *Revue Juridique de l'Environnement*, n° 4, pp. 521-533.
- MIOSSEC A., 1990 b, « Etudes d'impact et enquêtes d'utilité publique en matière d'aménagement : les Français sont-ils bien informés ? », in *Cahiers Nantais*, n° 35-36, pp. 235-261.
- MIOSSEC A., CABANNE C., 1990, « La protection du littoral : une approche méthodologique (deux années d'enquête collective du Certificat de Géographie de la Mer) », in *Cahiers Nantais*, n° 35-36, pp. 153-163
- MIOSSEC A., 1987, « Conséquences de la pression touristique sur l'espace physique littoral », *Norois*, t. 34, n° 133-135, pp. 153-163.
- MIRLOUP J., 2003, La Loire et le concept d'espace-fleuve, in PETIT J.-G., SANGUIN A.-L., *Les fleuves de France atlantique. Identités, espaces, représentations, mémoires*, L'Harmattan, série Études culturelles et régionales », coll. Géographie et Cultures, Paris, p. 11-22.
- MOISY A., GUILLOU C., 2006, « Les marchés principaux », *Travaux*, n°828, pp. 49-54.
- MONADIER P., 1998, « Le point de vue du ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, l'utilisation des estuaires », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 69-80.
- MONADIER P., 1987, « Protection contre les risques côtiers », *Actes du colloque Mer et Littoral, Couple à risque*, Biarritz, pp. 362-377.
- MONDADA L., 2003, « Représentation », in Lévy J., Lussault M., (dir.), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, p. 790.
- MONFERRAND A., 2009, « Regards croisés sur l'évolution des services extérieurs de l'Environnement », *Pour Mémoire*, n°6, pp. 7-8.

- MONOD J., DE CASTELBAJAC P., 2006, *L'aménagement du territoire*, PUF, coll. Que sais-je ?, 127 p.
- MONTELLY H., 2013, « La politique de gestion du littoral : la stratégie nationale du trait de côte », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 31-39.
- MORAND-DEVILLER J., 2004, *Le droit de l'environnement*, coll. Que sais-je ?, Éd. PUF, Paris, 128 p.
- MOREL M., TRIPIER P., 2011, Diversité et limites des activités de modélisation des ingénieurs, in Bot L., Vitali M.-L. (dir.), *Modélisation et activités des ingénieurs*, L'Harmattan, Série Rencontres, pp. 53-71.
- MOREL V., KÖRFER A., DEBOUDT P., 2008, « Réseaux et gestion intégrée des zones côtières : un regard de géographes », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 8, n° 1, pp. 1-22.
- MORICEAU J.-M., 2002, *Terres mouvantes. Les campagnes françaises du féodalisme à la mondialisation. XII^e – XIX^e siècle*, Fayard, Paris, 445 p.
- MORIN E., 2005, *Introduction à la pensée complexe*, Éd. Seuil, Points, coll. Essais, Paris, p. 158.
- MORIN E., 1990, *Science avec conscience*, Éd. Seuil, Points, coll. Sciences, Paris, p. 315.
- MOSER G., WEISS K., 2003, *Espaces de vie. Aspects de la relation homme-environnement*, Paris, Armand Colin, 396 p.
- MOSSELMAN, E., 2012, « Short-term gains, long-term regrets: The effects of engineering large rivers in France and the Netherlands », in s.n. (Ed.), *Morphodynamique et transport solide en rivières: Du terrain aux modèles*, pp. 17-17.
- MOSSELMAN, E., 2004, « WL I Delft Hydraulics: history, mission and models », in Majewski W. (Ed.), *Hydraulic problems in environmental engineering*, Gdansk: Polish academy of sciences, institute of Hydro Engineering, pp. 35-42.
- MOUTET A., 1985, *Ingénieurs et rationalisation en France de la guerre à la crise (1914-1929)*, in *L'ingénieur dans la société française*, Coll. Mouvement Social, Éd. Ouvrières, pp.71-108.
- MUIR WOOD A. M., 1971, « Engineering aspects of coastal landslides », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 50, pp. 257-275.
- MULDER J. P. M., TONNON P. K., 2010, « 'Sand Engine' : background and design of a mega-nourishment pilot in the Netherlands », *Coastal Engineering Proceedings*, n°32, 10 p.
- MULDER J. P. M., HOMMES S., HORSTMAN E. M., 2009, « Implementation of coastal erosion management in the Netherlands », *Ocean & Coastal Management*, Special Issue, pp. 1-12
- MULDER J. P. M., STIVE M. J. F., 2001, « Zandmotor (sand motor) : Building with Nature », *25th ICID European Regional Conference 'deltas in Europe'*, Groningen, the Netherlands, 4 p.
- MUSEREAU J., 2009, *Approche de la gestion des cordons littoraux : mise au point et application d'un indice d'érosion (Zone des Pertuis Charentais, France)*, thèse de doctorat, Université Rennes 2, 306 p.
- MUSO P., 2007, « Saint-Simon et la pensée du réseau », *Pour Mémoire*, n°2, pp. 100-105.
- MUSSET R., 1955, « GUILCHER A., 1954, *Morphologie littorale et sous-marine*, Presses Universitaires de France, coll. Orbis, Paris, 215 p. » *Norwis*, vol. 8, n°1, pp. 575-579.

- NEWMAN D. E., 1976, « Beach replenishment : sea defences and a review of the role of artificial beach replenishment », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 60, pp. 445-459.
- NGUYEN D. T., BROSSARD J., 2012, « Solution de renforcement des ouvrages maritimes vis-à-vis de la remontée du niveau des mers », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 757-764.
- NIENHUIS P. H., 2008, *Environmental History of the Rhine-Meuse Delta. An ecological story on evolving human-environmental relations coping with climate change and sea-level rise*, Springer, 638 p.
- NIJS (DE) T., 2008, *De Delta in Wording. Overzicht van het benedenrivierengebied door de eeuwen heen*, Rijkswaterstaat, 112 p.
- NIKKELS M., 2010, *Changes in coastal defense visions and policies at the Dutch Wadden Islands over the 60 years*, Land Degradation and Development Group, Wageningen, 21 p.
- NOIN D., 1999, « La population des littoraux du monde », *L'Information géographique*, vol. 63, n°2, pp. 65-73.

O

- OFFRINGA G., 1987, *Le barrage anti-tempête dans l'Escaut oriental. Sécurité et protection de l'environnement*, Ed. DOSBOUW, 32 p.
- OLTHUIS K., KEUNING D., 2010, *Float ! Building on water to combat urban congestion and climate change*, Frame Publishers, Amsterdam, 304 p.
- ONERC, 2007, *Stratégie nationale d'adaptation au changement climatique*, La Documentation française, Paris, 97 p.
- OTTMANN F., 1987, « les modifications physiques de l'estuaire de la Loire et leurs conséquences socio-économiques », in *Norôis*, t. 34, n°133-135, pp. 81-89.

P

- PALMER R., LIMITED T., 1996, *History of coastal engineering in Great-Britain*, in Kraus N. C., *History and Heritage of Coastal Engineering*, ASCE, New York, pp. 214-274.
- PASKOFF R., 2006, *Les littoraux. Impacts des aménagements sur leur évolution*, Armand Colin, Paris, 260 p.
- PASKOFF R., 2001, *L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers*, Éd. Institut océanographique, coll. « Propos », Paris, 187 p.
- PASKOFF R., 2000, « L'élévation récente du niveau de la mer et les prévisions pour le XXI^e siècle », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 14-19.
- PASKOFF R., 1993, *Côtes en danger*, Masson, coll. Pratiques de la géographie, Paris, 250 p.
- PAULET J-P., 2002, *Les représentations mentales en géographie*, Paris, Anthropos, 152 p.
- PECH P., REGNAULD H., SIMON L., TABEAUD M., 2001, *Lexique de géographie physique*, Armand Colin, Paris, 96 p.

- PEETERS H., VAN HOVE B., VERHALLEN A., COFINO W., 2007, « The Scheldt Estuary Case : from conflict to coopération », Selected Case Study of CABRI-Volga Project Deliverable D3 « Environmental Risk Management in Large River Basins : Overview of current practices in the EU and Russia », 9 p.
- PELTIER M., 2013, « La politique de gestion du littoral : le Conservatoire du littoral, acteur de la prévention des risques sur le littoral », *Actes du colloque Phénomènes littoraux extrêmes, en France, aujourd'hui et demain, 6^{es} Rencontres Géographes et assureurs*, Paris, pp. 41-48.
- PERES J.M., 2002, « Littoral maritime », in *Encyclopédie Universalis*, pp. 745-746.
- PERHERIN C., ROCHE A., PONS F., ROUX I., DESIRE G., BOURA C., 2010, « Vulnérabilité du territoire national aux risques littoraux », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil, Les Sables d'Olonne*, pp. 617-634.
- PERON F., 2005, « Fonctions sociales et dimensions subjectives des espaces insulaires (à partir de l'exemple des îles du Ponant) », *Annales de géographie*, vol. 4, n° 644, p. 422- 436.
- PERON F., 1997, « Nouvelles pratiques, nouveaux usagers sur les littoraux », *Les cahiers Nantais*, n° 47-48, pp. 15-24.
- PERRIN J., 1995, « Les rapports entre les sciences de l'ingénieur, les sciences de la nature et les représentations mentales de l'État. Quelques enseignements tirés de l'histoire des pays industrialisés », *Tiers-Monde*, tome 36, n° 143, pp. 581-596.
- PESCATORI G., GUILLOT J., RAVAUX X., RUELLE L., 2011, *La place des corps d'ingénieurs ITPE – IAE – ITM – ITGCE dans les services de l'État*, rapport établi pour le CGAAER n°10191 et le CGEDD n°007498-01, 68 p.
- PETIT I., 2013, *Habiter le risque. Adapter l'île de Noirmoutier au risque de submersion marine*, Projet de fin d'études, ENSA – Versailles, 51 p.
- PIALLAT J., LABEY D., 2002, « Réalisation d'un diagnostic des ouvrages de défense contre la mer du littoral vendéen », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil, Anglet*, pp. 523-531.
- PICON A., 2007, « Générosité sociale et aspirations technocratiques : les Polytechniciens saint-simoniens », *Pour Mémoire*, n°2, pp. 106-114.
- PICON A., (dir.), 1997, *L'art de l'ingénieur, constructeur, entrepreneur, inventeur*, Éditions du Centre Pompidou, Paris, 598 p.
- PICON B., 2004, Problématique environnementale et représentations de la nature. Pour une construction de l'environnement comme objet scientifique, in LEVEQUE C., LEEUW (VAN DER) S., 2004, *Pour une approche soio-écologique de l'environnement*, Elsevier, Masson, Série Environnement, pp. 76-85.
- PIELKE R. A., 2007, *The Honest Broker : Making Sense of Science in Policy and Politics*, Cambridge University Press, Cambridge, 188 p.
- PILKEY O., COOPER J.A.G., 2004, « Society and sea-level rise », *Science*, n°303, pp. 1781-1782.
- PINEAU-GUILLOU L., THEETTEN S., DUMAS F., LECORNU F., IDIER D., 2012, « Prévion opérationnelle des niveaux de la mer, surcotes et décotes sur les côtes de la Manche et de l'Atlantique », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil, Cherbourg*, pp. 957-964.
- PINOT J.-P., 2002, Géographie des littoraux en France : évolution d'une discipline, in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 27-58.
- PINOT J.-P., 1998, *La gestion du littoral, tome 2 : littoraux tempérés : littoraux vaseaux et embouchures*, Éd. Institut Océanographique, 759 p.

- PIPPARD A. J. S., 1999, The functions of engineering research in the university, in ADDIS W. (Ed.), *Structural and Civil Engineering Design*, British Library CIP data, London, pp. 269-284.
- PIRAZZOLI P. A., 2005, « Évolution récente des situations de surcote sur les deux rives de la Manche orientale », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 5-9.
- PIRAZZOLI P. A., 2000, « L'élévation récente du niveau de la mer et les prévisions pour le XXI^e siècle », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 10-13.
- PITT M., 2008, *Lessons Learned from the 2007 Flood*, Environment Agency, 460 p.
- PITTE J.-R., 2006, *Géographie culturelle. Histoire du paysage français. Gastronomie française. Le vin et le divin. Paysages à voir, à manger et à boire*, Fayard, Paris, 1078 p.
- POISSONNIER D., 2006, « La réhabilitation des vasières », *Travaux*, n°828, pp. 111-116.
- PONTEE N. I., PARSONS A., 2009, « A review of coastal risk management in the UK », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 163, pp. 31-42.
- PONTEE N. I., 2007, « Realignment in low-lying coastal areas : UK experiences », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 160, pp. 155-165.
- PONTEE N. I., COOPER N. J., 2005, « Including estuaries in shoreline management plans », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 158, pp. 33-39.
- PONTEE N. I., 2005, « Management implications of coastal change in Suffolk, UK », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 158, pp. 69-81.
- PONTEE N. I., 2004, « Saltmarsh loss and maintenance dredging in estuaries », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 157, pp. 71-81.
- PONTEE N., 1998, « La directive « habitats » : quelques questions concernant son application pratique au Royaume-Uni », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 184-194.
- POUJADE R., 1975, *Le ministère de l'impossible*, Calman-Lévy, Paris, 278 p.
- POUSIN F., 2010, « Figures d'ingénieur avec paysage », *Les carnets du paysage*, n°18 – *Du côté des ingénieurs*, pp. 3-9.
- POWELL K. A., 1991, « Coastal management », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 90, pp. 231-236.
- PREFECTURE DE LA VENDEE, 2011, Plan de prévention des risques prévisibles d'inondation, règlement, Commune de la Faute-sur-Mer, 30 p.
- PREFECTURE DE LA VENDEE, 2011 b, Plan de prévention des risques prévisibles d'inondation, Notice de présentation, Commune de la Faute-sur-Mer, 27 p.
- PREFECTURE DE LA VENDEE, 2011 c, Plan de prévention des risques prévisibles d'inondation, règlement, Commune de l'Aiguillon-sur-Mer, 31 p.
- PREFECTURE DE LA VENDEE, 2011 d, Plan de prévention des risques prévisibles d'inondation, Notice de présentation, Commune de l'Aiguillon-sur-Mer, 28 p.
- PREVOT G., KERGADALLAN X., SERGENT P., 2012, « Influence de la remontée du niveau de la mer sur les franchissements des ouvrages maritimes selon trois approches », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 773-780.

- PRIEUR M., 2009, « Conclusion : Rapport de synthèse sur la gestion intégrée des zones côtières », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, n° Hors-série 5, pp. 1-4.
- PROSES, 2008, *Ontwikkelingsschets 2010 Schelde-estuarium*, Résumé, 16 p.
- PROUST W., 2004, « Gestion intégrée des sédiments sur le littoral Charentais », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Compiègne, pp. 817-829.
- PUGH D. T., 1990, « Is there a sea-level problem ? », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 88, pp. 347-366.
- PUPIER-DAUCHEZ S., 2008, « Le rechargement sédimentaire des plages vendéennes et charentaises : vers une gestion globale du littoral ? », *Actes du colloque « Littoral : subir, dire, agir »*, 11 p.

Q

- QUEFFELEC C.-N., 2012, « Les premières stations balnéaires en Europe », *Pour Mémoire*, n° hors-série, pp. 74-82.

R

- RADULESCU M., BARUSSEAU J.-P., RUEDA F., 1994, « Évaluation globale du transfert sédimentaire le long du cordon littoral de Sète à Marseillan », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sète, pp. 113-117.
- RADULESCU M., BARUSSEAU J.-P., GERBE A., 1992, « Premiers résultats d'une étude sur la dynamique sédimentaire de la plage de Sète », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Nantes, pp. 410-420.
- RAISON S., 2008, « Le classement des digues littorales au titre de la sécurité civile : un exemple de mise en œuvre en Vendée », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 283-292.
- RAYNAL O., BRUNEL C., CERTAIN R., ALEMAN N., ROBIN N., SABATIER F., 2012, « Le bilan sédimentaire, un outil pour la conception d'un plan de gestion des sédiments du littoral du Languedoc-Roussillon », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 371-380.
- REGNAULD H., MAHMOUD H., OSWALD J., PLANCHON O., MUSEREAU J., 2010, « Tempêtes, rythme de fonctionnement d'une cellule sédimentaire et « espace d'accueil » : exemple sur l'Anse du Verger, Bretagne Nord », *Noréis*, vol. 215, n°2, 15 p.
- REGNAULT H., 1999, *Les littoraux*, Coll. Synthèse, Armand Colin, Paris, 96 p.
- REGNAULT H., TABEAUD M., 1999, *Océanographie*, Armand Colin, Paris, 96 p.
- REUSS M., 2002, « Learning from the Dutch. Technology, Management, and Water Resources Development », *Technology and culture*, vol. 43, n°3, pp. 465-472.
- REY-VALETTE H., ANTONA M., 2009, « Gouvernance et gestion intégrée du littoral : L'exemple des recherches françaises », *VertigO – la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 9, n°1, pp. 1-10.
- RHODES A. H., 1972, « Professional training and status of civil engineers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 52, pp. 355-377.
- RIEB G., WALKER P., 2001, « Suivi morphologique du littoral », *Géologues*, n°129, pp. 75-79.

- RIVIERE A., 1948, « Sur l'embouchure du Lay (Vendée), la sédimentation et la morphologie estuarienne », *Bulletin de la Société Géologique de France*, vol. 5, n°18, pp. 139-151.
- ROBERTS A. G., McGOWN A., 1988, « A coastal area management system as developed for Seasalter-Reculver, North Kent », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 84, pp. 611-614.
- ROBIN M., 2002, « Télédétection et modélisation du trait de côte et de sa cinématique », in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 95-115.
- ROCHE A., AZZAM C., DENIAUD Y., DETOURBE S., DEVAUX E., OLIVEROS C., PERHERIN C., RAOUT F., REVEL J., TRMAL C., VIGNE P., 2012, « Pour un socle commun des connaissances sur l'évolution du littoral : l'actualisation des « Catalogues sédimentologiques des côtes françaises' », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 397-406.
- ROCHE A., BERTRAND X., POIRIER H., 2012, « ROSCOF : développement d'une chaîne d'outils pour les recensements d'ouvrages côtiers », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 1-10.
- ROCHE A. PERHERIN C., 2010, « Méthodologie de recensement des ouvrages de protection contre les aléas côtiers », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 781-790.
- ROCHEBLAYE A.-M., 1963, « La notion de rôle : quelques problèmes conceptuels », *Revue française de sociologie*, vol. 4, n°3, pp. 300-306.
- RHODES A. H., 1972, « Professional training and status of civil engineers », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 52, pp. 355-377.
- ROQUEPLO P., 1988, *Pluies acides : menaces pour l'Europe*, Economica, Paris, 357 p.
- ROUSSEL S., REY-VALETTE H., HENICHART L.-M., 2009, « Perception des risques côtiers et Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) », *La Houille Blanche*, n°2, pp. 67-74.
- ROWLAND A., TRIM L., ASH J., 2008, « The programme of flood defence Works, Humber estuary », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 161, pp. 1-8.
- ROYAL ASKONING, 2001, Environmental Statement Sustainable Flood Defences, Managed Realignment at Abbots Hall, Essex, Final Report, 138 p.
- ROYAL ASKONING, 2001 b, Landscape and Visual Impact assessment, Sustainable Flood Defences, Final Report, 32 p.
- RUIG DE J. H. M., 1998, « Coastline Management in the Netherlands : Human Use Versus Natural Dynamics », *Journal of Coastal Conservation*, n°4, pp. 17-134.
- RUPP-ARMSTRONG S., NICHOLLS R., 2007, « Coastal and Estuarine Retreat : A comparison of the Application of Managed Realignment in England and Germany », *Journal of coastal research*, vol. 23, n°6, pp. 1418-1430.

S

- SABATIER F., HEURTEFEUX H., HANOT B., 2008, « Dépôts d'overwash et tempêtes à moyen terme sur deux lidos méditerranéens », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 477-486.
- SANCHEZ M., ABESSOLO C., GRIMONT D., COMY D., RENAUD T., ALESSANDRINI B., DROUET A., CLAVERIE G., 2010, « Ingénierie hydrosédimentaire appliquée à la validation d'un concept innovant de port de plaisance », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Les Sables d'Olonne, pp. 937-944.

- SAEIJIS H. L. F., 2008, Turning the tide. Essays on Dutch ways with water, VSSD, Delft, 142 p.
- SAEIJIS H. L. F., GEURTS VAN KESSEL A. J. M., 2005, The Oosterschelde, a changing ecosystem after completion of the delta Works, in *Flooding and Environmental Challenges for Venice and its lagoon : State of Knowledge*, Ed. Fletcher C. A. & Spencer T., Cambridge University Press, pp. 317-334.
- SAEIJIS H. L. F., SMITS A. J. M., OVERMARS W., WILLEMS D., 2004, *Changing Estuaries, Changing Views*, Erasmus University, Rotterdam & Radboud University, Nijmegen, 54 p.
- SAEIJIS H. L. F., SCHUYT K. D., 2001, « Living with dams », Proceedings Symposium « Dams and Dikes in Development organised by Nethcold and Nethcid, Dutch members of the ICOLD and ICID, by the occasion of the World Water day 22th March 2001), ed. Duyvendijk (van) H., Westen (van) C. J., pp. 25-41.
- SAEIJIS H. L. F., 1999, « Water at risk. Water related challenges in the 21st century », *Proceedings 9th Annual Conference Risk analysis : facing the new millenium*, Rotterdam, pp. 21-32.
- SAEIJIS H. L. F., VAN WESTERN C.J., WINNUBST M.H., 1995, « Time for a revival of the Rhine. A quest for a sustainable river basin », Symposium « The need for water. Storing water in riverbasins », Oslo, during the executive Meeting of ICOLD (International Commission on Large Dams), pp. 3-24.
- SAEIJIS H. L. F., 1982, *Changing estuaries*, thèse de doctorat, Université de Leiden, 412 p.
- SAEIJIS H. L. F., Baptist J. J. M., 1977, « Wetland criteria and birds in a changing delta », *Biological Conservation*, col. 11, n°4, pp. 251-266.
- SAFARI I., ROBERT F., MOUAZE D., EZERSKY A., 2008, « Historique du bloc artificiel utilisé dans les digues à talus », *Actes du colloque X^{èmes} Journées Nationales Génie Côtier - Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 805-820.
- SAINT LEGER (DE) E., COSTA S., LEVOY F., MONFORT O., DELAHAYE D., 2005, « Étude préliminaire sur la porosité des plages de galets de Haute-Normandie », *Actes du colloque PAR (Plages À Risques) ; BAR (Beaches At Risks)*, 2005, pp. 18-20.
- SANCHEZ M., 1992, Modélisation dans un estuaire à marée – Rôle du bouchon vaseux dans la tenue des sols sous-marins, Thèse de doctorat, Université de Nantes, 210 p.
- SAPPIN F., 2006, « Jean-Rodolphe Perronet (1708-1794) ‘premier ingénieur du Roi’ et directeur de l’École des Ponts et Chaussées de Claude Vacant », *Pour Mémoire*, n°1, pp. 83-88.
- SARRAZIN J.-L., 2012, « ‘Vimers de mer’ et sociétés littorales entre Loire et Gironde (XIV^e-XVI^e siècle), *Noroi*, n°222, pp. 91-102.
- SAURIAU P.-G., GUILLAUD J.-F., THOUVENIN B., 1997, « II. Qualité des eaux », in *Rapports de synthèse de l’APEEL*, Nantes, 104 p.
- SAURIAU P.-G., 1997 b, « V. Réflexion sur l’hydrobiologie de l’estuaire de la Loire », in *Rapports de synthèse de l’APEEL*, Nantes, 57 p.
- SAUSSAYE L., HAMDOUN H., BOUTOUIL M., BARAUD F., LELEYTER L., MAHERZI W., LE GOFF P.-A., 2012, « Évaluation environnementale de la réutilisation de sédiments de dragage en tant que matériau alternatif », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 1085-1092.
- SAUZEAU T., 2007, « Claude Masse, ingénieur-géographe de Louis XIV », *L’ACTUALITE POITOU-CHARENTES*, n°77, pp. 48-50.
- SAVARD J.-P., BOURQUE A., 2008, « Adapter les zones côtières aux changements climatiques : de la consultation à l’action », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Sophia Antipolis, pp. 487-501.

- SCHARR P.-J., FACON G., 2006, « Estuaires et changements climatiques : la baie de Somme et le littoral picard », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Brest, pp. 317-334.
- SCHERRER P., GALICHON P., 2006, « Port 2000 : le premier débat public loi Barnier en France. Le point de vue du Port Autonome du Havre », *Travaux*, n°828, pp. 25-29.
- SCHERRER P., GALICHON P., HAUCHECORNE V., 2006, « Port 2000 et l'environnement », *Travaux*, n°828, pp. 97-100.
- SCHERRER P., 2005, « Port 2000, Le Havre. Le développement durable à grande échelle », *Actes du séminaire Entrepreneurs Villes et Territoires*, Paris, 10 p.
- SCHOENENWALD N., 2013, *Les tempêtes en France et dans les îles britanniques : des aléas aux événements*, thèse de géographie, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 322 p.
- SCHULE A., 2003, La Loire, un patrimoine en devenir, in PETIT J.-G., SANGUIN A.-L., *Les fleuves de France atlantique. Identités, espaces, représentations, mémoires*, L'Harmattan, série Études culturelles et régionales », coll. Géographie et Cultures, Paris, p. 191-212.
- SCE, 2006, *Digue est, Commune de La Faute-sur-Mer*, Réalisation d'un dossier technique et d'un dossier d'ouvrage, diagnostic technique, 70 p.
- SENAT, 2010, Rapport d'informations sur les conséquences de la tempête Xynthia, n°554, 227 p.
- SHEPARD C. C., CRAIN C. M., BECK M. W., 2011, « The Protective Role of Coastal Marshes : A Systematic Review and Meta-analysis », *Plos ONE*, vol. 6, issue 11, pp. 1-11.
- SHEPARD C. C., CRAIN C. M., BECK M. W., 2001, « The Prospective Role of Coastal Marshes : A Systematic Review and Meta-analysis », *Plos One*, vol. 6, issue 11, 11 p.
- SHINN T., 1978, « Des Corps d'État au secteur industriel : genèse de la profession d'ingénieur, 1750-1920 », *Revue française de sociologie*, vol 19, n°1, pp. 39-71.
- SHRIVASTAVA A. K., LEVACHER D. R., 2004, « Sea level rise and its consequences on coastal environment », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Compiègne, pp. 831-838.
- SILVESTER R., 1970, « Coastal defence », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 45, pp. 667-681.
- SIMON B., 2000, « Les niveaux marins extrêmes le long des côtes de France et leur évolution », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 6-9.
- SIMON L., CLEMENT V., PECH P., 2007, « Forestry Issues and Disputes in Provincial Regions During the 19th Century : The Example of the Lure mountains (France) », *Journal of Historical Geography*, n°33, pp. 335-351.
- SIMON L., 2006, « De la biodiversité à la diversité : les biodiversités au regard des territoires », *Annales de Géographie*, n° 651, pp. 451-467.
- SINGELIN P., 2011, « La part des sites dans la protection du littoral, témoignage sur le cas du littoral atlantique », *Pour Mémoire*, n°Hors-série, pp. 67-71.
- SLOBBE (VAN) E., LULOFS K., 2011, « Implementing 'Building with Nature' in complex governance situations », *Terra et Aqua*, n°124, 8 p.
- SLOMP R., 2012, *Le cadre législatif et organisationnel de la gestion du risque d'inondation aux Pays-Bas*, Éd. Rijkswaterstaat, Ministère de l'Infrastructure et de l'Environnement, 78 p.
- SLOMP R., 2007, « Le cadre législatif de la gestion du risque inondation aux Pays-Bas », SOUMASTRE S. (dir.) *Actes du colloque national de la Société Française pour le Droit de l'Environnement*, Biarritz, pp. 112-117.

- SMITH E. M. A., 1960, « Management and human relations », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 17, pp. 232-238.
- SMITS F., 2011, *Géographie de la France*, Hatier, coll. Initial, 285 p.
- SOGREAH, 2008, *La passion d'un métier...*, Sogreah Consultants, 208 p.
- STAPLES K. D., 1977, « Estuarine pollution control : objectives and priorities », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 62, pp. 283-292.
- STASZAK J-F., 2003, *Carte mentale*, in Lévy J., Lussault M. (dir.), *Dictionnaire de la géographie et de l'espace des sociétés*, Paris, Belin, p. 132-133.
- STOKKOM H. T. C., SMITS A., J., M., LEUVEN R. S. E. W., 2005, « Flood Defense in The Netherlands. A New Era, a New Approach », *Water International*, vol. 30, n°1, pp. 76-87.
- STRAATSMA M., SCHIPPER A., PERK (VAN DER) M., BRINK (VAN DEN) C., LEUVEN R., MIDDELKOOP H., 2009, « Impact of value-driven scenarios on the geomorphology and ecology of lower Rhine floodplains Under a changing climate », *Landscape and Urban Planning*, pp.160-174.
- STUMPP C., DUPAIN R., 1990, « Contribution à l'étude de la dynamique littorale en milieu estuarien », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Le Havre, pp. 266-274.
- SUTHONS C. T., 1963, « Frequency of occurrence of abnormally High sea levels on the East and South coasts of England », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 25, pp. 433-447.
- SYLVAND B., 1998, « Le suivi scientifique à long terme en baie des Veys (côtes française de la Manche orientale) envisagé comme outil prédictif de l'évolution sédimentaire : impact des aménagements et aide à la décision », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 242-253.

T

- TAAL M., MULDER J., CLEVERINGAAND J., DUNSBERGEN D., 2005, « 15 Years of coastal management in the Netherlands ; policy, implementation and knowledge Framework », RIKZ, 10 p.
- TABEAUD M. (dir.), 2009, *Le changement en environnement. Les faits, les représentations, les enjeux*, Publications de la Sorbonne, Paris, 148 p.
- TABEAUD M., LYSANIUK B., SCHOENENWALD N., BURIDANT J., 2009, « Le risque 'coup de vent' en France depuis le XVIe siècle », *Annales de Géographie*, n°667, pp. 319-332.
- TABEAUD M., 2009 b, « Les territoires face aux changements climatiques », *Annales des Mines, Responsabilité et Environnement*, n°56, pp. 34-40.
- TABEAUD M., 2008, « Concordance des temps. De Le Verrier à Al Gore », in *EspacesTemps.net*, Actuel, pp. 1-11
- TABEAUD M., 2007, Les tempêtes en Atlantique Nord et le changement climatique : un état de la question, in *Du continent au bassin versant. Théories et pratiques en géographie physique* (Hommage au Professeur Alain Godard), Presses Universitaires Blaise Pascal, pp. 375-382.
- TABEAUD M., 2007 b, « Les adaptations au changement climatique ou la re-découverte des acteurs et des territoires », in *Livre Vert, Position de l'Europe sur la stratégie d'adaptation au changement climatique*, pp. 1-12.

- TALIN K. ET DIDIER C., 2011, « Les ingénieurs et l'éthique », in DARSCH C. ET LONGUET L. (dir.), *Ingénieurs 2011. 22^e enquête d'Ingénieurs et Scientifiques de France (CNISF)*, Paris, Ingénieurs et scientifiques de France, pp. 73-77.
- TANGUY J.-M., 1996, « Vers une approche 'High Tech' du littoral », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Dinard, pp. 207-216.
- TEBRAKE, 2002, « Taming the Waterwolf. Hydraulic Engineering and Water Management in the Netherlands during the Middle Ages », *Technology and Culture*, vol. 43, n°3, pp. 475-499.
- TEISSON C., 1990, « Reculer pour mieux défendre : protection de la plage de galets de Criel-sur-Mer », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Le Havre, pp. 240-249.
- TEMAM S., 2012, *Stratégies de gestion du risque inondation, ouvrages d'art et ingénieurs, en Loire nivernaise depuis le XVIII^e siècle*, thèse de doctorat, Université Paris VIII, Vincennes-Saint-Denis, 457 p.
- TERNIER A., 1984, « Être ingénieur d'hier à aujourd'hui », *Culture technique*, n°12, pp. 336-347.
- The Coastal Protection Act, 1949, consultable sur le site : legislation.gov.uk/ukpga/Geo6/12-13-14/74
- THEPOT A. (études recueillies par), 1986, « L'ingénieur dans la société française », *Annales, Économies, Sociétés, Civilisations*, vol. 41, n°3, pp. 737-739.
- THEYS J., 2007, « L'expérience du ministère de l'Environnement et du Cadre de vie : la place de l'environnement », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 17-21.
- THOENIG J.-C., 2009, « Les DDE face à la décentralisation », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 73-85.
- THOENIG J.-C., 1987, *L'ère des technocrates*, Editions L'Harmattan, coll. Logiques Sociales, 317 p.
- TISSIER J.-L., VELUT S., 2002, Entretien avec Fernand Verger, in VERGER F., BARON-YELLES N., GOELDNER-GIANELLA L., VELUT S., *Le littoral. Regards, pratiques et savoirs*, Éditions rue d'Ulm, Paris, pp. 9-25.
- TONNERRE-GUERIN M.-A., 2003, « Les tempêtes, un concept et une genèse revisités : l'exemple de la façade occidentale de l'Europe », in *Annales de Géographies*, t. 112, n°633, pp. 451-470.
- TOWNEND I. H., 2008, « Breach design for managed realignment sites », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 161, pp. 9-19.
- TOWNEND I. H., 2008b, « Hypsometry of estuaries, creeks and breached sea wall sites », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 161, pp. 23-32.
- TRICARD J., 1968, *Précis de géomorphologie, tome 1 : géomorphologie structurale*, Sedes, Paris, 322 p.
- TROUILLET B., GUINEBERTEAU T., DE CACQUERAY M., ROCHETTE J., 2011, « Planning the sea : The French expérience. Contribution to marine spatial planning perspectives », *Marine Policy*, vol. 35, n°3, pp. 324-334.

V

- VACANT C., 2001, *Du cantonnier à l'ingénieur. Les métiers de la route au fil des siècles*, Presses ENPC, Paris, 328 p.

- VADELORGE L., 2013, « La décentralisation est-elle un faux problème ? Réflexions sur l'histoire croisée de l'aménagement et de la décentralisation et bilan du séminaire 2009-2012 », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 20-34.
- VADELORGE L., 2009, « Des CODER à Defferre : l'Équipement au centre de la décentralisation », *Pour Mémoire*, n° Hors-série, pp. 25-36.
- VANARA N., HUET C., PAYET N., PECH P., GOELDNER-GIANELLA L., 2014, « Environnement et géomatique : des métiers en mutation », *EchoGéo*, n°27, pp. 1-8.
- VAN DAM P. J. E. M., 2002, « Ecological Challenges, Technological Innovations », *Technology and Culture*, vol. 43, n°3, pp. 500-520.
- VAN DER MOST H., DE WIT S., BROEKHANS B., ROOS W., 2010, *Kijk op waterveiligheid*, Eburon, Delft, 234 p.
- VAN KONINGSVELD, M., M.A. DAVIDSON, D.A. HUNTLEY, R. MEDINA, S.G.J. AARNINKHOF, J. JIMENEZ, J. RIDGEWELL AND A. DE KRUIF, 2007, « A critical review of the CoastView project: recent and future developments in coastal management video systems », *Coastal Engineering*, n°54, pp. 567-576.
- VAN KONINGSVELD M., MULDER J. P. M., 2004, « Sustainable Coastal Policy Development in The Netherlands. A systemic Approach Revealed », *Journal of Coastal Research*, vol. 20, n°1, pp. 426-435.
- VANEY J.-R., 1977, *Géomorphologie des plates-formes continentales*, Doin éditeurs, Paris, 300 p.
- VANROYE C., DEVAUX E., CHASSE P., 2012, « Étude préalable à la prévention des submersions marines dans une zone sensible à l'érosion : la Belle Henriette (Vendée) », *Actes du colloque Génie Côtier – Génie Civil*, Cherbourg, pp. 521-530.
- VEGA-LEINERT (DE LA) A., NICHOLLS R. J., 2001, « Les conséquences socio-économiques de l'élévation accélérée du niveau de la mer au Royaume-Uni », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 48-57.
- VELTZ P., VULLIET L., MERCADAL G., 2004, « L'ingénieur et la société », *Actes du colloque L'art de l'ingénieur au XXI^e siècle*, Paris, pp. 58-68.
- VEEN (VAN) J., 1962, *Dredge, Drain, Reclaim. The art of a Nation*, The Hague Martinus Nijhoff, 5^e édition, La Haye, 220 p.
- VEEN (VAN) J., 1950, « Ebb and Flood Channel Systems in the Netherlands Tidal Waters », *Journal of The Royal Dutch Geographical Society*, vol. 67, pp. 303-325.
- VERBEEK H., STORM C., 2001, « Tidal Wetland Restoration in The Netherlands », *Journal of Coastal Research*, vol. 27, special issue, pp. 192-202.
- VERGER F., 2014, « Terre et mer, Flandre belge et Flandre zélandaise s'affrontent dans l'estuaire de l'Escaut occidental », *Physio-Géo*, vol. 8, n° varia, pp. 89-100.
- VERGER F., 2011, « Dignes et polders littoraux : réflexions après la tempête Xynthia », *Physio-Géo*, vol. 5, n° varia, pp. 95-104.
- VERGER F., 2009, *Zones humides du littoral français*, Belin, Paris, p. 447.
- VERGER F., 2000, « Les risques liés à l'élévation du niveau marin dans les marais maritimes et les polders », in PASKOFF R., *Actes du Colloque d'Arles Le changement climatique et les Espaces Côtiers. L'élévation du niveau de la mer : risques et réponses*, 12-13 Octobre, pp. 20-23.
- VERGER F., GOELDNER L., 1999, « Endiguements littoraux et conservation des marais et vasières dans le nord-ouest de l'Europe », *Les Cahiers du Conservatoire du littoral*, n°7, pp. 75-91.

- VERIN H., 1983, *La Gloire des Ingénieurs. L'intelligence technique du XVI^e au XVIII^e siècle*, Albin Michel, Paris, 455 p.
- VERVORST I., BEIJERSBERGEN J., 1993, *Résumé du Plan d'action dans l'Escaut occidental*, 24 p.
- VEYRET Y., 2007, *Dictionnaire de l'Environnement*, Armand Colin, Paris, 403 p.
- VIARD J., 1985, *Protestante, la nature ?*, in CADORET, A. (dir.), 1985, *Protection de la nature. Histoire et idéologie. De la nature à l'environnement*. Paris, L'Harmattan, Paris, 254 p.
- VIGARIE A., RAPETTI D., MARION L., 1997, « IV. Zones humides », in *Rapports de synthèse de l'APEEL*, Nantes, 68 p.
- VIGIER P. (dir.), 1986, *Une histoire de la Loire*, éditions Ramsay, Paris, 413 p.
- VILLETTE M., 1984, « Une technologie sociale d'ingénieur-conseil », *Actes de la recherche en sciences sociales*, vol. 54, pp. 45-56.
- VIROL M., 2008, « La rivière, une voie royale pour Vauban », *Pour Mémoire*, n°4, pp. 69-79.
- VOOGD DE C., 2003, *Histoire des Pays-Bas*, Fayard, Paris, 390 p.
- VROON J., COOSEN J., WINDER (DE) B., 1998, « Évolution naturelle et artificielle des estuaires : le cas de l'Escaut », *Actes du séminaire national de travail. Évolution naturelle et artificielle des estuaires français. Quel avenir pour leurs zones d'intérêt biologique ?*, Paris, pp. 169-183.

W

- WADE S., HOSSELL J., HOUGH M., FENN C., 1999, *Rising to the challenge : Impacts of Climate Change in the South East in the 21st Century*, Technicl Report, WS Atkins, Epsom, 94 p.
- WAGRET P., 1959, *Les polders*, Dunod, 311 p.
- WAKELIN M. J., MAINS-SMITH R. J., WINDERS J. D., JARDINE F. M., 1991, « River and coastal flood embankments », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 90, pp. 1121-1133.
- WALTHER R., SCHAGUENE J., HAMM L., DAVID E., 2012, « Coupled 3D modeling of turbidity maximum dynamics in the Loire estuary, France », *Coastal engineering*, n°33, pp. 2832-2841.
- WATSON D., ADAMS M., 2011, *Design for Flooding. Architecture, landscape, and urban design for resilience to climate change*, John Wiley & Sons Editors, New Jersey, 298 p.
- WEEKS D. P., 1970, « The engineer in society », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 46, pp. 489-491.
- WIERSMA A. G., 1960, « Turfing on sea walls », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 15, pp. 273-277.
- WILLEMIN V., 2008, *Maisons sur l'eau*, Éditions Alternatives, Paris, 210 p.
- WILSON G. A., 1972, « Europe, Britain and the engineer », *Proceedings of Institution of Civil Engineers*, vol. 51, pp. 1-15.
- WISSERHOF J., 1994, *Matching research and Policy in integrated water management*, Delft University Press, Delft, 216 p.
- WOLFF W. J., 1992, « The End of a Tradition : 1000 Years of Embankment and Reclamation of Wetlands in the Netherlands », *Ambio*, vol. 21, n°4, pp. 287-291.

WOLTERS M., 2007, *Restoration of salt marshes*, Rijksuniversiteit Groningen Ed., 168 p.

Archives

Cours :

- BONNEFILLE R., 1992, Hydraulique et travaux maritimes, Compléments au cours d'hydraulique Maritime, École Nationale des Ponts et Chaussées, 20 p.
- CHAPON J., 1978-1979, *Cours de travaux maritimes, tome I*, École Nationale des Ponts et Chaussées, 58 p.
- CHAPON J., 1973-1974, *Cours de travaux maritimes, fascicule II, Leçons sur les Digue*s, École Nationale des Ponts et Chaussées, 48 p.
- CHAPON J., 1970-1971, Cours de travaux maritimes, fascicule I, Le milieu naturel et la Défense des côtes, École Nationale des Ponts et Chaussées, 120 p.
- DELTARES, 1960, *Hydraulics Laboratory Delft Netherlands*, Ed. Waterloopkundig Laboratorium Delft.

Programme des enseignements :

- École Nationale des Ponts et Chaussées : 1957, 1958, 1970, 1971, 1974, 1977, 1979, 1981, 1982, 1983, 1984, 1985, 1986, 1990, 1991, 1999, 2000, 2009, 2010.
- Université Technologique de Delft : de 1972 à 1981 ; 1984/1985 ; 1989/1990 ; 1993/1994 ; 1996/1997 ; 1999/2000 ; 2000/2001 ; 2002/2003 ; 2004/2005 ; 2010/2011.

Brochures

- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2010a, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°13, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2010b, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°12, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2009a, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°11, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2009b, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°10, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2008, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°9, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2007, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°8, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2006, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°7, 4 p.

- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2005, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°6, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2004, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°5, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2002a, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°4, 4 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 2002b, Approche de la biodiversité des milieux naturels dans l'estuaire de la Loire. La couverture végétale, 15 p.
- CELLULE DE MESURES ET DE BILANS LOIRE ESTUAIRE, 1999, *La Lettre de Loire Estuaire, de la Maine à la Loire*, n°2, 4 p.
- DELTARES, 2010, *Diverse Dike*, 4 p.
- ÉCOLE DES PONTS PARISTECH, 2012, *L'École en chiffres 2011/2012*, 8p.
- ENVIRONMENT AGENCY, 2008, Planning for the future. Pagham to East Head draft coastal defence strategy. Summary document, 23 p.
- ENVIRONMENT AGENCY, 2007, Planning for the future. Pagham to East Head. Coastal defence strategy 2007. Initial consultation – a guide for local communities, 19 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2011, *La lettre Loire Estuaire*, n° 14, 4 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2011, Les prélèvements et rejets d'eau, 8 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2011, Les dragages d'entretien dans l'estuaire, 4 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2009a, Illustré de la faune dans l'estuaire de la Loire, 31 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2009b, Mosaïque d'habitats de l'estuaire de la Loire, approche spatialisée des fonctionnalités écologiques, 11 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2008, Densité d'oiseaux et répartition géographique, 8 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2007, Une démarche progressive pour l'estuaire de la Loire, les scénarios, études prospectives aval, vol. 2, 15 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2006, Un nouvel équilibre pour l'estuaire de la Loire, les objectifs, études prospectives aval, vol. 1, 15 p.
- GIP LOIRE ESTUAIRE, 2006, *Et si la Loire Océane...*, 23 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°7, avril 2010, 4 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°5, juin 2005, 4 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°4, octobre 2004, 4 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°3, janvier 2004, 4 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°2, avril 2003, 4 p.
- PUBLICATION PORT AUTONOME DU HAVRE, Flash Info « Port 2000 », n°1, septembre 2002, 4 p.
- GRONTMIJ, *Sustainable design & engineering, Planning connecting respecting the future*, 27 p.
- GRONTMIJ, *De klimaatbewuste en duurzame onderneming, Planning connecting respecting the future*, Grontmij, De Bilt, 67 p.
- GRONTMIJ, 2009, *Back to the coast. Planning connecting respecting the future*, Grontmij, De Bilt, 79 p.
- PROVINCIE ZEELAND, 1986, *Zeeland a striking area*, 20 p.
- RIJSKWATERSTAAT, 2013, The Sand Motor. Pilot project for natural coastal protection, 15 p.

- RIJSKWATERSTAAT, 2005, *Het Verleden Onderweg Bewaard. Raakpunten tussen infrastructuur en cultuurhistorie*, Ministrie van Verkeer en Waterstaat, 92 p.
- RIJSKWATERSTAAT, 1987, *Le barrage anti-tempête dans l'Escaut oriental. Sécurité et protection de l'environnement*, 32 p.
- ZEEWERINGEN, 2010, *Voor veilige dijken in Zeeland*, 11 p.

Articles de presse

Journal Le Marin

- « Port 2000, naissance d'un géant », Dossier Spécial, vendredi 31 mars 2006, 27 p.

Journal Le Monde

- ALLIX G., 2010, « La France veut interdire l'urbanisation en zone inondable », *Journal Le Monde* du 19 mars 2010.
- BAUMARD M., 2012, « Ingénieurs à la française », *Journal Le Monde* du 13 décembre 2012.
- DROUIN P., 1953, « En pleine santé économique, LA HOLLANDE « ENCAISSE » sans trop de difficultés la catastrophe de février », *Journal Le Monde* du 27 mars 1953.
- DUMOULIN S., 2012, « Ces Écoles que le monde nous envie », *Journal Le Monde* du 13 décembre 2012.
- EUDES Y., 2008, « Villes amphibies, îles artificielles », *Journal Le Monde* du 3 février 2012.
- FRANC C., 2012, « L'université a droit de cité chez les ingénieurs », *Journal Le Monde* du 13 décembre 2012.
- GARRIC A., 2014, « Réchauffement : les dix points marquants du rapport du GIEC », *Journal Le Monde* du 14 avril 2014.
- GARRIC A., 2014, « Derrière la tempête, la menace de l'érosion du littoral », *Journal Le Monde* du 14 avril 2014.
- KOLM S.-C., 1972, « Pour une planification de l'environnement », *Journal Le Monde* du 18 avril 1972.
- LAMOTTE C., 1972, « M. Robert Poujade veut à la fois préserver la faune sauvage et améliorer les conditions d'exercice de la chasse », *Journal Le Monde* du 14 septembre 1972.
- SCHMITT O., 2010, « Est-ce qu'aux Pays-Bas on évacue à chaque tempête ? », *Le Mensuel*, n°3, pp. 49-51.
- STROOBANTS J.-P., 2013, « Dégâts limités après le passage de la tempête Xaver en Belgique et aux Pays-Bas », *Journal Le Monde* du 6 décembre 2013.
- STROOBANTS J.-P., 2009, « Aux Pays-Bas, une intense campagne contre la remise en eau du polder Hedwige », *Journal Le Monde* du 11 octobre 2009.

Émissions de radio

Planète Terre, par Sylvain Khan, sur France Culture :

« S'organiser face à la montée des océans », émission du 30 septembre 2009, invité : Philippe Escudier

« Rifts et marges continentales », émission du 23 septembre 2009, invitée : Sylvie Leroy.

La Fabrique de l'Histoire, par Emmanuel Laurentin, sur France Culture :

« 24h au cœur de la Recherche : Histoire de l'école polytechnique et l'évolution du métier d'ingénieur », émission du 03 février 2011, invités : Bruno Belhoste, Pierre Veltz, Alexandre Moatti.

« Histoire de l'environnement (1/4) : la création du ministère de l'Environnement », émission du 28 mars 2011, invité : Robert Poujade.

« Histoire de l'environnement (3/4) : table ronde avec archives sur l'histoire des catastrophes naturelles, invités : Emmanuel Garnier, Fabien Locher, Anne-Marie Granet-Abisset.

Conférences

MEDDE, 28 juin 2012, « Stratégie nationale de gestion intégrée du trait de côte », Réunion d'information autour du projet de : Mise à jour des « Catalogues sédimentologiques des côtes françaises », conférence interne, Centre d'analyse stratégique, Paris 7^{ème}.

UNIVERSITE DE TOUS LES SAVOIRS :

cycle de conférences organisé à Paris en février 2010, sur le thème : *Qu'est-ce qu'un ingénieur aujourd'hui ? L'ingénieur, le génie, la machine*

DEMARCY P., DEPINCE P., 2010 « *Penser en ingénieur : méthodes de pensées et de travail* », consultable sur le site :

http://www.canalu.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/penser_en_ingenieur_methodes_de_pensees_et_de_travail.5476

MICHAUD Y., 2010, « *Ingénieurs et société : d'Auguste Comte à la technoscience et à l'intelligence collective* », consultable sur le site :

http://www.canalu.tv/video/universite_de_tous_les_savoirs/ingenieurs_et_societe_d_auguste_comte_a_la_technoscience_et_l_intelligence_collective.5506

Sites internet

AIPCN FRANCE : Association mondiale pour les infrastructures de transport maritimes et fluviales

→ www.aipcn.fr

ASSEMBLEE NATIONALE : page sur l'histoire de la décentralisation

→ <http://www.assemblee-nationale.fr/histoire/decentralisation.asp>

CAFE GEOGRAPHIQUE : Virol M., Boucon J., 18 septembre 2008, « Vauban et la ville : un héritage à gérer »

→ www.cafe-geo.net

COMCOAST : site du programme Interreg IIIb, North Sea Programm

→ <http://www.northsearegion.eu/iiib/projectpresentation/details/&tid=25&theme=2>.

COMMISSION EUROPEENNE : Appel à propositions du programme MAST III « Sonder les profondeurs des mers et des océans »

→ <http://ec.europa.eu/research/rtdinf13/13f05.html> .:

ENVIRONMENT AGENCY :

→ <http://www.environment-agency.gov.uk>

ENTPE : site de l'École Nationale des Travaux Publics de l'État

→ www.entpe.fr

EUCC- France :

→ www.euccfrance.fr.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS :

→ www.ice.org.uk

MEDDE : Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie

→ www.developpement-durable.gouv.fr/

OBSERVATOIRE NATIONAL DE LA MER ET DU LITTORAL :

→ <http://www.onml.fr>

RIJSKWATERSTAAT :

→ <http://www.rijkswaterstaat.nl/en/>

THE WILDLIFE TRUSTS :

→ www.wildlifetrusts.org

UNIE VAN WATERSCHAPPEN : autorités néerlandaises de l'eau

→ www.uvw.nl

Université Technologique de Delft

→ www.tudelft.nl

UNIVERSITE DE WAGENINGEN

→ <http://www.wageningenur.nl/fr.htm>

WILD LIFE TRUST : sites présentant des fiches de synthèse sur l'histoire de l'aménagement d'Abbotts Hall

→ <http://www.essexwt.org.uk/reserves/abbotts-hall-farm>

Table des cartes

Carte 1 a	Contexte nord-ouest européen	21
Carte 1 b	Densité de population en Europe du nord-ouest	21
Carte 2	Assèchements de terres réalisés par les ingénieurs hydrauliciens néerlandais aux XVII ^e et XVIII ^e siècles	60
Carte 3	Localisation de la zone de recensement de tempêtes entre 45° et 70 N et 20°W et 20°E	66
Carte 4 a	Moyennes annuelles de vitesse de vents	68
Carte 4 b	Moyennes annuelles de hauteur de vague	68
Carte 5	Localisation des sites retenus dans cette étude	81
Carte 6	Fond de carte proposé aux enquêtés rencontrés aux Pays-Bas	93
Carte 7	Exemple de fond de carte proposé aux enquêtés rencontrés en Angleterre	94
Carte 8	Déroulement du travail de terrain effectué	98
Carte 9	Reconstitution cartographique de l'érosion côtière	100
Carte 10	Le risque submersion marine aux Pays-Bas et la politique de rechargement en sable de 1991 à 2003	102
Carte 11	Localisation du projet ZandMotor	106
Carte 12	Localisation du polder de Hondsbossche zeekering en Petten	110
Carte 13	Carte historique de l'estuaire de la Humber (1734)	114
Carte 14	Localisation d'Alkborough et état des digues de l'estuaire de la Humber	115
Carte 15	Localisation et description du projet de <i>managed realignment</i> à Abbots Hall ...	119
Carte 16	La flèche de l'Aiguillon-sur-Mer en 1747	124
Carte 17	Flèche de l'Aiguillon-sur-Mer et flèche d'Arçay en 1850	124
Carte 18	Faiblesses et enjeux de la lagune de la Belle Henriette	127
Carte 19	Variété des zones humides de la lagune	127
Carte 20	Localisation de Zuidbout et Bathpolder	136
Carte 21	Ensemble des dépoldérisations réalisées ou en projet en France	140
Carte 22	Ensemble des dépoldérisations réalisées ou en projet autour de la mer du Nord ..	141
Carte 23 a	Occurrence de la zone citée par les ingénieurs comme appartenant au littoral	158
Carte 23 b	Occurrence de la zone citée par les non ingénieurs comme appartenant au littoral	159
Carte 24	<i>Coastal Groups</i> , <i>SMPs</i> de seconde génération et cellules sédimentaires	180
Carte 25	L'inondation de 1953 : ampleur de son étendue et localisation des brèches néerlandaises	202
Carte 26	Projet de fermeture des bras d'estuaires et de la mer des Wadden imaginé par J. Van Veen	204
Carte 27	La Zélande : inondée en 1953, endiguée dès 1960	210
Carte 28	Ampleur des surcotes dans le sud de la mer du Nord en 1953	264
Carte 29	Niveau d'eau atteint en Vendée lors du passage de Xynthia	264
Carte 30	Solutions de gestion retenue à Selsey/Medmerry	285
Carte 31	États des lieux et enjeux de l'Escaut occidental	304
Carte 32	Polder de Sainte-Marie-du-Mont au sein de la baie des Veys	312
Carte 33	Rives de l'estuaire de la Loire entre Paimboeuf et La Martinière	331
Carte 34	Situation et enjeux principaux à Wallasea Island	346

Table des figures

Figure 0	Synthèse des limites attribuées au littoral	34
Figure 1	Nombre d'années nécessaires pour devenir ingénieur en France, aux Pays-Bas et en Angleterre	49
Figure 2	Formation des tempêtes en Atlantique Nord	65
Figure 3	Classification morphologique des plages selon la vitesse de chute adimensionnelle et le marnage relatif	69
Figure 4	L'histoire du mur de protection du rivage de Westerland, île de Sylt, Allemagne, de 1912 à 1970	70
Figure 5	Le phénomène de <i>coastal squeeze</i>	76
Figures 6 a et b	Graphes associatifs soumis aux enquêtés	88
Figure 7	Extrait de l'affiche Nederland/Waterland (1987)	100
Figure 8	Le rechargement en sable aux Pays-Bas depuis 1991	103
Figure 9	Les trois formes alternatives du ZandMotor, Pays-Bas.....	107
Figure 10	Profil de la première digue construite à Hondsbossche zeekering en Petten en 1506, Hollande septentrionale	110
Figures 11 à 13	Évolution des profils de digues imaginés à Hondsbossche zeekering en Petten au XIX ^e siècle	110
Figure 14 a	Le polder de Hondsbossche dans son état actuel	110
Figure 14 b	Possible futur pour le polder de Hondsbossche. Solution imaginée et proposée par <i>Natuurmonumenten</i>	110
Figure 16	Schéma en coupe d'une digue de mer néerlandaise type	132
Figure 17	Principe de l'Elastocoast	134
Figure 18	Tests d'utilisation de l'Elastocoast	135
Figure 19	Le modèle des strates du territoire	148
Figure 20	Mots signifiants utilisés pour décrire le littoral au rang 1, tous acteurs et tous pays confondus	149
Figure 21	Mots signifiants utilisés par les ingénieurs et les non ingénieurs pour décrire le littoral au rang 1	151
Figure 22	Emboîtement des échelles spatio-temporelles du projet ZandMotor	155
Figure 23	Mots signifiants utilisés pour décrire la gestion idéale du littoral de demain, tous acteurs et tous pays confondus	164
Figure 24	Mots signifiants utilisés par les ingénieurs et les non ingénieurs pour décrire leur gestion du littoral de demain	167
Figure 25 a	Graphe associatif réalisé par un Anglais	185
Figure 25 b	Graphe associatif réalisé par un Néerlandais	186
Figure 25 c	Graphe associatif réalisé par un Français	186
Figure 26	Mots signifiants associés à la description du littoral actuel distingués selon les pays	188
Figure 27	Mots signifiants associés à une gestion idéale du littoral de demain, selon les pays	190
Figure 28	Coupe technique du barrage amovible de l'Escaut oriental	210
Figure 29	Le cursus de formation des ingénieurs français trop éloigné des réalités sociales ?	241
Figure 30	Évolution des débouchés dans le domaine de l'industrie et de la banque pour les diplômés d'ingénierie civile de l'ENPC	244
Figure 31	Recensement des communications retenues aux colloques de l'ICE, dans	

	le domaine de l'aménagement et de la gestion du littoral	249
Figure 32	L'environnement humain comme système en 1973 en Angleterre	251
Figure 33	Organisation institutionnelle de la gestion de l'eau aux Pays-Bas	267
Figure 34	Position du <i>Momentary Coast Line</i>	268
Figure 35	Schématisation du programme triennal de rechargement en sable	269
Figure 36	Organisation institutionnelle de la gestion côtière en Angleterre	271
Figure 37	Organisation actuelle des services principaux concernés par la gestion du littoral en France	275
Figure 38	Comparaison du coût à l'hectare de la gestion par dépoldérisation	291
Figure 39	Frise chronologique des dates clés de l'évolution de la législation et de la formation des ingénieurs	298
Figure 40	Évolution des besoins portuaires à Anvers	304
Figures 41 a-i	Évolution géomorphologique du delta zélandais ainsi que des endiguements successifs des rives de l'Escaut occidental depuis l'an 50.....	306
Figure 42	Évolution du profil des digues bordant l'Escaut occidental	306
Figure 43	Chronologie des événements ayant contribué directement ou indirectement à l'aménagement de l'Escaut occidental	308
Figure 44	Schématisation simplifiée de la gestion de l'estuaire de l'Escaut occidental depuis 1906	310
Figure 45 a	Scénario 1 de dépoldérisation partielle à Sainte-Marie-du-Mont	312
Figure 45 b	Scénario 2 de dépoldérisation partielle à Sainte-Marie-du-Mont	312
Figure 45 c	Scénario 3 de dépoldérisation totale à Sainte-Marie-du-Mont	312
Figure 46	Profil de la digue cerclant le polder de Sainte-Marie-du-Mont	313
Figure 47	Extrait d'animation présentant le résultat d'un travail de modélisation effectué par les ingénieurs	317
Figure 48	Le Canal de la Martinière	329
Figure 49	Vue du port de Saint-Nazaire en 1825	329
Figure 50	Évolution des théories hydrodynamiques mises en œuvre par les ingénieurs dans l'estuaire de la Loire, du début du XVIII ^e siècle, jusqu'à la fin de XX ^e siècle	329
Figure 51	Évolution de la profondeur du lit de l'estuaire de la Loire : 1900-1974	332
Figure 52	Scénario de déconnexion – estuaire de la Loire	339
Figure 53	Scénario morphologique – estuaire de la Loire	339
Figure 54	Évolution depuis le début du XIX ^e siècle de la vision de l'estuaire selon les ingénieurs et l'intérêt défendu, en fonction des échelles spatiales associées	342
Figures 55 a et b	Vues d'artiste de Wallasea Island en 2019	346
Figures 56 a-d	Évolution de la géométrie de l'estuaire de la Seine	348
Figure 57	Plan de masse de restauration de vasières, Seine, 1990	348
Figure 58	Comparaison du développement des biomasses dans les vasières naturelles et artificielles	348
Figure 59	Mesures compensatoires et d'accompagnement du projet Port 2000	359
Figure 60	Mobilité à l'intérieur du bâtiment	372
Figure 61	Une forme modernisée de la <i>dijkwoning</i>	372
Figure 62	Maquette d'une construction amphibie	374
Figure 63	Maison intégrée à une digue de second rang	374
Figure 64	Maison sur caisson flottant	374
Figure 65	Évolution du profil des ingénieurs impliqués dans l'aménagement ou la gestion du littoral du XIII ^e siècle jusqu'à nos jours	385

Table des photographies

Photo de couverture , Paull Holme Strays, estuaire de la Humber, Angleterre, juil. 2011		
Photos 1 à 4	Le « boulevard de mer » de Scheveningen, Pays-Bas (oct. 2013)	104
Photo 5	Les larges dunes au nord de Scheveningen, Pays-Bas (oct. 2013)	106
Photos 6 a - c	Évolution du banc de sable du projet ZandMotor, Pays-Bas (2011 et 2012).....	106
Photos 7 a - c	Appropriation par les promeneurs et les sportifs de ZandMotor (oct. 2013)	106
Photo 8	Vue aérienne de Hondsbossche, Hollande septentrionale (2005)	110
Photo 9	Alkborough avant <i>managed realignment</i> , Angleterre (2004)	115
Photo 10	Alkborough après <i>managed realignment</i> (2007)	115
Photo 11	Alkborough après <i>managed realignment</i> , vu depuis l'escarpement naturel (juil. 2011)	115
Photo 12	Seuil mis en place pour l'ouverture du site d'Alkborough (2009) ...	116
Photo 13	Site d'Abbotts Hall depuis la rive sud du Salcott Channel, Angleterre (août 2011)	116
Photo 14	Brèche ouverte dans une des digues ceinturant Abbotts Hall (août 2011)	116
Photo 15	Vue sud-ouest, nord-est du Salcott Channel (août 2011)	116
Photo 16	Position actuelle des flèches de l'Aiguillon-sur-Mer et d'Arçay, Vendée (2013)	124
Photo 17	Diversité des milieux écologiques de la lagune de la Belle Henriette, Vendée (juil. 2012)	127
Photo 18	Haut de dune protégeant la lagune (juil. 2012)	127
Photo 19	Camping de la Belle-Henriette (juil. 2012)	127
Photos 20 à 31	Évolution des revêtements de digue depuis 1800 aux Pays-Bas (août 2010 et 2001)	133
Photos 32 à 34	Revêtement des pentes externes des digues avec Elastocoast à Bathpolder, Zélande (juil. 2010)	136
Photos 35 à 38	Série de tests sur la pente enherbée de la digue de mer, Zélande (2012)	137
Photos 39 à 44	Éléments contribuant à la diversité des revêtements de digue aux Pays-Bas (2010 et 2012)	139
Photo 45	Large brèche à Ouderkerk lors de la tempête de 1953, nord de Rotterdam	203
Photo 46	Barrage amovible de l'Escaut oriental	210

Photo 47	Bassin à houle du laboratoire de Delft en 1935	231
Photo 48	Modèle réduit d'une portion de côte, laboratoire de Delft (2005)	231
Photo 49	Canal moderne à houle	231
Photo 50	Batteur serpent en 1940	231
Photo 51	Vue aérienne vers le sud-est de la pointe de Selsey / Medmerry, côte sud de l'Angleterre (2013)	285
Photo 52	Vue panoramique du schorre de Saeftinghe, Zélande (juil. 2010)	304
Photo 53	Profondeur des chenaux naturels de Saeftinghe, Zélande (juil. 2010) ..	304
Photo 54	Des bateaux toujours plus gros, sortie du port d'Anvers (août 2010) ...	304
Photo 55	Vue aérienne du pont de Normandie (1992)	348
Photo 56	Le littoral selon Sogreah (2004)	351
Photo 57	Tracé du chenal environnemental de Port 2000 (2006)	359
Photo 58	L'îlot du Ratier, au large du port du Havre (2006)	359
Photos 59 a - d	Évolution des travaux d'extension du port du Havre (2002, 2003, 2004, 2005)	359
Photo 60	Vue aérienne d'Ijburg, banlieue d'Amsterdam (oct. 2013)	369
Photo 61	Maison flottante sur pilier, Ijburg (oct. 2013)	369
Photo 62	Immeuble flottant, Ijburg (oct. 2013)	369
Photo 63	<i>Dijkwoning</i> traditionnelle	372
Photo 64	Ensemble de maisons flottantes, Ijburg (oct. 2013)	374
Photo 65	Détail d'un pilier permettant aux maisons flottantes de changer de niveau (oct. 2013)	374
Photo 66	Terrasse et parking à bateau, Ijburg (oct. 2013)	374
Photo 67	Pavillon flottant de Rotterdam (oct. 2013)	374
Photo 68	Maison sur pilotis en période sèche (2009)	374
Photo 69	Maison sur pilotis en période d'inondation (2009)	374

Table des tableaux

Tableau 1	Données physiques et socio-économiques des littoraux néerlandais, britanniques et français	19
Tableau 2	Articulation de l'aménagement, de la gestion et de l'équipement du littoral	39
Tableau 3	Comparaison des cursus néerlandais, anglais et français menant au diplôme d'ingénieur	51
Tableau 4	Évolution des techniques et ouvrages d'endiguement entre les XIII ^e et XVII ^e siècles	57
Tableau 5	Nombre de tempêtes répertoriées entre 1570 et 1989 en Europe du Nord-Ouest	66
Tableau 6	Choix des sites d'études retenus	81
Tableau 7	Classification par pays et par profession des acteurs rencontrés	83
Tableau 8	Estimations de la croissance de la dune permise par le projet ZandMotor	107
Tableau 9	La lagune de la Belle Henriette depuis 1906	126
Tableau 10	Les deux scénarios envisagés dans la gestion de la Belle Henriette	129
Tableau 11	Évolution des revêtement de digues utilisés depuis 1800	132
Tableau 12	Comparaison des rechargements en sable effectués dans la seconde moitié du XX ^e siècle	142
Tableau 13	Répartition par pays et par profession des graphes associatifs sur le littoral recueillis	149
Tableau 14	Synthèse des plus fortes occurrences associées au mot littoral par les ingénieurs et les non ingénieurs	151
Tableau 15	Synthèse des plus fortes occurrences des graphes associatifs sur le littoral et la gestion du littoral, et vision associée pour tous les acteurs	165
Tableau 16	Synthèse des plus fortes occurrences des mots signifiants pour les graphes associatifs relatifs au « littoral actuel » et vision associée	188
Tableau 17	Synthèse des plus fortes occurrences des mots signifiants pour les graphes associatifs relatifs à la gestion idéale pour le littoral de demain et vision associée	190
Tableau 18	Synthèse des réponses à la question : « Parmi les scientifiques (chercheurs, ingénieurs, experts...), pouvez-vous citer une personne qui a fait évoluer votre vision de la gestion du littoral ? »	239
Tableau 19	Répartition par domaine des élèves-chercheurs de l'ENPC	244
Tableau 20	Matrice récapitulative des stratégies nationales d'adaptation au changement climatique pour les Pays-Bas, le Royaume-Uni et la France	261

Tableau 21	Comparaison des tempêtes de 1953 et 2010	264
Tableau 22	Fusion des branches ministérielles de l'Équipement et de l'Environnement	272
Tableau 23	Analyse coûts / bénéfiques appliquée à Selsey-Medmerry	287
Tableau 24	Comparaison des coûts de revêtement de digues	289
Tableau 25	Comparaison des coûts de différents projets de rechargement en sable et en galets	292
Tableau 26	Ensemble des personnes concernées par l'étude de faisabilité de dépoldérisation à Sainte-Marie-du-Mont	315
Tableau 27	De la poldérisation effectuée par les ingénieurs à une étude de dépoldérisation effectuée par une équipe pluridisciplinaire	316
Tableau 28	Évolution des profils recrutés dans le département environnement du <i>Rijkswaterstaat</i> entre 1970 et 1985	324
Tableau 29	Comparaison des étapes d'une réflexion classique de gestion du littoral faisant appel à la démarche simplifiante et d'une réflexion renouvelée mobilisant une démarche complexe.....	366
Tableau 30	Typologie du degré de mobilité de l'habitat, adaptée aux zones marines et littorales	373

Fiche 1	ZandMotor ou le « Moteur à sable »	106
Fiche 2	Hondsbosche zeekering en Petten : vers une acceptation ponctuelle et partielle de la submersion marine ?	110
Fiche 3	Alkborough ou le régulateur « vert » des inondations de la Humber	115
Fiche 4	Des digues au schorre pour protéger Abbots Hall	119
Fiche 5	La Belle Henriette, acte II ; une dynamique enfin reconnue et prise en compte	127
Fiche 6	Le barrage amovible de l'Escaut oriental	210
Fiche 7	Comparaison des tempêtes de 1953 et 2010	264
Fiche 8	Selsey-Medmerry : entre maintien du trait de côte et <i>managed realignment</i>	285
Fiche 9	L'Escaut occidental : pour un Escaut dynamique et « vert »	304
Fiche 10	Sainte-Marie-du-Mont : la redéfinition du rôle des ingénieurs au sein d'une étude de dépollérisation	312
Fiche 11	L'estuaire de la Loire historique	329
Fiche 12	Pour un nouvel estuaire de la Loire : la victoire des vasières sur le barrage	339
Fiche 13	Wallasea Island : une île « verte » façonnée par les ingénieurs	346
Fiche 14	1990 : restauration des vasières nord de l'estuaire de la Seine, naissance d'une vocation pour les ingénieurs du génie civil	348
Fiche 15	Port 2000 ou le succès d'un projet complexe	359
Fiche 16	Les maisons flottantes, une nouvelle façon d'habiter le littoral	374

Listes des sigles et acronymes

AAMP	Agence des Aires Marines Protégées
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise d'Énergie
APEEL	Association Pour la Protection de l'Environnement de l'Estuaire de la Loire
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CEL	Conservatoire de l'Espace Littoral et des rivages lacustres
CEREMA	Centre d'Études et d'Expertise sur les Risques, l'Environnement, la Mobilité et l'Aménagement
CERTU	Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'urbanisme et les constructions publiques
CETE	Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CETMEF	Centre d'Études Techniques Maritimes et Fluviales
CG	Conseil Général
CGEDD	Conseil Général de l'Environnement et du Développement Durable
CR	Conseil Régional
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DDAM	Direction Départementale des Affaires Maritimes
DDTM	Direction Départementale des Territoires et de la Mer
DEB	Direction de l'Eau et de la Biodiversité
DGALN	Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
DHUP	Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages
DIREN	Direction Régionale de l'Environnement
DIRMER	Direction Inter-régionale de la Mer
DRE	Direction Régionale de l'Équipement
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DRIRE	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
EA	Environment Agency
EEA	Agence Européenne de l'Environnement
ENCP	École Nationale des Ponts et Chaussées
ENTPE	École Nationale des Travaux Publics de l'État
GIEC	Groupe d'Experts Intergouvernementaux sur l'Évolution du Climat
GIP	Groupe d'Intérêt Public
GIZC	Gestion Intégrée des Zones Côtières
IAE	Ingénieur de l'Agriculture et de l'Environnement
ICE	Institution of Civil Engineers
IDB	Internal Drainage Board
IECS	Institut d'Études Commerciales Supérieures
IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
IGREF	Ingénieur du Génie Rural et des Eaux et Forêts
IPC	Ingénieurs des Ponts et Chaussées
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

IPEF	Ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts
IRSTEA	Institut de Recherches en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
ITGCE	Ingénieur des Travaux Géographiques et Cartographiques de l'Etat
ITM	Ingénieur des Travaux de la Météorologie
ITPE	Ingénieur des Travaux Publics de l'Etat
KNMI	Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut
LNH	Laboratoire Nationale d'Hydraulique
MAFF	Ministry of Agriculture, Food and Fisheries
MEDDE	Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie
MEDDM	Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer
NAP	Normal Amsterdam Peil
PAPI	Programme d'Actions de Prévention contre les Inondations
PIANC	Association mondiale pour les infrastructures de transports maritimes et fluviales
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PPRL	Plans de Prévention des Risques Littoraux
PPR	Plans de Prévention des Risques
PSR	Plan Submersions Rapides
RSPB	Royal Society for the Protection of Birds
RWS	Rijkswaterstaat
SCOPAC	Standing Conference On Problems Associated with Coastline
SCOT	Schéma de cohérence Territoriale
SETRA	Services d'Études sur les Transports, les Routes et leurs Aménagements
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
STCPMVN	Service Technique Central des ports Maritimes et des Voies Navigables

INTRODUCTION GENERALE.....	9
I. Pourquoi s'intéresser aujourd'hui au rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral ?	11
A. Une présence continue des ingénieurs dans l'aménagement du territoire... ..	11
B. ... et pourtant un manque général d'études en sciences sociales sur cet acteur	11
II. Les apports d'une approche géographique dans l'étude d'un acteur particulier du territoire littoral	15
A. L'analyse de l'articulation représentations/pratiques de gestion du littoral, au service d'une géographie sociale et culturelle de l'environnement	15
B. L'importance d'une approche multi-scalaire.....	16
C. Comparer pour enrichir l'exemple français	18
1. Trois pays liés par des contraintes communes.....	18
2. ... et aux spécificités remarquables.....	19
3. Une comparaison également établie entre ingénieurs et autres acteurs de la gestion côtière.....	22
Conclusion : le rôle des ingénieurs dans la gestion du littoral en trois question....	22

PARTIE 1

Quand les ingénieurs en charge de la gestion côtière sont-ils apparus ?	
Comment mener une analyse géographique de leur rôle ?	25

CHAPITRE 1

De la mer au littoral, de l' <i>engigneur</i> à l'ingénieur : définition et évolution des notions mobilisées	27
---	-----------

I. Le « littoral » : un objet territorial complexe.....	27
A. De la mer à l'invention du littoral.....	27
B. Autant de définitions que d'approches possibles.....	29
1. L'approche physique du littoral	29
2. L'approche économique du littoral.....	30
3. L'approche juridique du littoral	30
a. Le cas français	31
b. Le cas anglais	32
c. Le cas néerlandais	33
C. La contribution des géographes à la définition du littoral	34
1. Une unanimité ponctuée de nuances liées au cadre de recherche.....	34
2. L'indispensable prise en compte de critères « subjectifs »	36
D. Définition retenue dans cette étude	36
II. La « gestion du littoral » : importance des termes employés et des échelles de réflexion	37
A. L' « aménagement du littoral » : échelle nationale et décision politique	37
B. La « gestion du littoral » : décision concertée de l'échelle régionale à l'échelle local.....	38
C. L' « équipement du littoral » : échelle locale et décision technique	38

III. L'implication ou le « rôle » des ingénieurs	39
A. La notion de « rôle », appliquée à l'ingénieur	39
1. Bref historique du concept de rôle.....	39
2. Le positionnement de l'ingénieur au sein des décideurs	41
B. De l' « engigneur » aux objectifs de formation de l'ingénieur civil, ou le rôle social de l'ingénieur.....	41
1. Émergence de la figure de l'ingénieur, ou « l'homme de la machine » et « l'inventeur individuel ».....	41
2. De l'ingénieur d'État à l'ingénieur civil	42
3. L'importance du rôle social de l'ingénieur	44
4. Expansion ou fragmentation de la profession des ingénieurs au XXe siècle ?.....	45
C. Ecole d'ingénieurs ou universités ? Analogies et singularités des modèles de formation anglo-saxons et français.....	47
D. Diplôme et Statut des ingénieurs : vers une unité européenne ?.....	52
Conclusion du chapitre 1	53

CHAPITRE 2	
Des ingénieurs hydrauliciens garants de la sécurité face aux tempêtes du nord-ouest européen.....	55

I. Le rôle durable des ingénieurs dans l'histoire de l'aménagement du littoral nord-ouest européen	55
A. Les Néerlandais, un peuple d'ingénieurs hydrauliciens ?.....	55
1. De la peur du waterwolf... ..	55
2. ... à la naissance de l'ingénierie hydraulique.....	56
3. Les ingénieurs néerlandais, une figure incontournable de l'aménagement du littoral européen	59
B. La France et l'Angleterre ou le développement d'une ingénierie d'abord militaire et industrielle	61
1. Une moindre peur des tempêtes	61
2. Une ingénierie française développée d'abord au service de la maîtrise et de la défense du territoire national	62
3. Les ingénieurs anglais ou la figure de la révolution industrielle.....	63
II. Trois pays, un contexte climatique commun ?	65
A. Une région de tempêtes.....	65
1. Formation et récurrence des tempêtes.....	65
2. Brève description des mécanismes d'érosion et de submersion.....	67
3. Des côtes basses vulnérables	69
B. Des prévisions climatiques communes aux trois pays selon le GIEC	72
1. Une élévation accélérée du niveau marin, mais des projections incertaines sur son ampleur pour le XXI ^e siècle.	72
2. Évolution des événements tempétueux.....	73
3. Conséquences environnementales et socio-économiques sur les systèmes côtiers et marins.....	75
a. Conséquences physiques	75
b. Conséquences socio-économiques	76
Conclusion du chapitre 2	78

CHAPITRE 3	
Objectifs et méthodologie.....	79

I. Objectif 1 : analyser les pratiques des ingénieurs	79
A. Le choix des études de cas	79
1. Choix physique.....	79
2. Choix des sites en fonction de leurs objectifs de gestion et des techniques retenues.....	80
B. De l'analyse des plans de gestion et de l'étude de cas à l'identification des ingénieurs et autres acteurs à rencontrer	82
II. Objectif 2 : analyser les formations des ingénieurs.....	83
III. Objectif 3 : recueillir et analyser les représentations mentales des ingénieurs	84
A. L'entretien semi-directif	84
1. Justification du choix des entretiens semi-directifs	84
2. Construction de l'entretien.....	85
B. Le récit de vie	86
C. Les techniques graphiques	87
1. Les graphes associatifs.....	87
2. Les cartes mentales.....	89
a. L'intérêt des cartes mentales dans le champ de la géographie de l'environnement	89
b. Limites des cartes mentales et choix de mise en œuvre	90
D. L'observation participante.....	95
Conclusion du chapitre 3	95

PARTIE 2

Confrontation des discours et des pratiques : des ingénieurs de plus en plus "verts" ?.. 97

CHAPITRE 4	
Constat : la recherche d'un littoral plus "vert"	99

I. Évolution des techniques utilisées par les ingénieurs à l'échelle du site	99
A. Le rechargement en sable largement encouragé aux Pays-Bas	99
1. ZandMotor ou le « moteur à sable »	99
2. Hondsbossche zeewering en Petten : une remise en question des standards de submersion.....	109
B. Quand le schorre fait concurrence au béton, en Angleterre	113
1. Un réservoir naturel de stockage d'eau pour contenir les inondations de la Humber : le cas d'Alkborough	113
2. Du schorre pour protéger les terres d'Abbotts Hall de l'élévation du niveau marin....	117
C. Une gestion de plus en plus verte en France ? Le cas de la lagune de la Belle Henriette	123
II. Évolution des techniques utilisées par les ingénieurs à l'échelle de l'ouvrage : l'exemple de la digue	131
A. De l'amélioration de la résistance des matériaux de revêtement.....	132
B. ... à l'amélioration de leur qualité environnementale.....	133
Conclusion du chapitre 4	140

CHAPITRE 5	
De plus en plus d'environnement dans les discours des ingénieurs.....	145

I. Une forte homogénéité des discours consacrés au littoral.....	146
A. Un territoire complexe	146
B. Un système dynamique	152
1. Des discours soutenant définitivement une vision dynamique du littoral.....	153
a. La prise en compte du dynamisme du secteur de la Belle Henriette pour une gestion renouvelée et « sans regret » du site	153
b. La dynamique littorale naturelle ou l'énergie du « moteur à sable » néerlandais.....	154
2. Une vision dynamique mise en valeur par les cartes mentales	156
C. Une vision du "littoral de demain" lié à l'intégration d'enjeux environnementaux.....	161
1. L'analyse des discours.....	161
2. ... confirmée par l'analyse des graphes associatifs	156
a. Analyse des graphes portant sur la gestion du littoral de demain, tous acteurs confondus.....	163
b. Comparaison des graphes portant sur le « littoral actuel » et la gestion du « littoral de demain », tous acteurs confondus.....	165
c. Comparaison entre ingénieurs et non ingénieurs.....	166
II. ... plus ou moins teintée de vert toutefois.....	168
A. Une question de formation entre ingénieurs et non ingénieurs mais surtout de génération entre ingénieurs	168
1. "Make it difficult !" / "Keep it simple !".....	168
2. Le poids du facteur générationnel entre ingénieurs.....	171
B. L'intégration de la dimension environnementale : évidence à l'échelle nationale, contrainte à l'échelle locale, ou la particularité française.....	174
C. Le poids des différences culturelles	177
1. Des discours nationaux marqués	177
a. Une pratique de gestion du littoral proche de l'idéal aux Pays-Bas.....	177
b. La gestion actuelle en bonne voie pour devenir idéale en Angleterre.....	178
c. Une gestion optimisée du littoral français qui semble loin d'être atteinte	181
2. Des tendances nationales affirmées par l'analyse des graphes	185
Conclusion du chapitre 5	191
Conclusion de la partie 2	192

PARTIE 3

Entre peur des tempêtes et amélioration des connaissances scientifiques : un éventail de facteurs explicatifs.....	193
--	-----

CHAPITRE 6	
Tournant écologique et social.....	195

I. Moteurs et évolution du mouvement écologique en Europe.....	195
A. La naissance de l'écologie moderne : une réponse d'urgence aux périls menaçant la planète ?.....	195
B. Structuration politique et scientifique de l'écologie	196
C. De l'écologie à l'environnement et au développement durable.....	197
II. Le barrage de l'Escaut oriental ou le turning point des Pays-Bas.....	201
A. Phase de pré-développement : 1953-1967.....	201

B. Phase de décollage : 1967-1973.....	206
C. Phase d'accélération : l'année 1973.....	207
D. Phase de stabilisation : 1973-1976.....	208
III. Une évolution certaine mais plus diffuse en Angleterre et en France.....	211
A. Un tournant écologique et social plus progressif qui explique une perception variable selon les acteurs.....	211
1. Perception constatée en Angleterre.....	211
2. Perception constatée en France.....	212
B. Un mouvement ancien, construit en opposition à la révolution industrielle en Angleterre.....	213
1. Une vision d'abord esthétique de l'environnement, monopole de l'aristocratie anglaise.....	213
2. Un renouvellement de la question environnementale au lendemain de la Seconde Guerre Mondiale.....	214
a. L'État légifère.....	214
b. Le National Trust prend de l'ampleur.....	215
3. 1986 : l'année environnementale du littoral anglais ou la réconciliation entre ingénieurs et « protecteurs de la nature ».....	216
C. Un essor environnemental plus complexe en France.....	217
1. Rauch puis Le Play, des ingénieurs environnementalistes avant-gardistes.....	218
2. Une institutionnalisation très rapide du tournant environnemental.....	218
3. Un bouleversement pour le corps des ingénieurs.....	220
a. Une adaptation difficile pour des ingénieurs projetés dans l'inconnu.....	220
b. Une vision fragmentée des ingénieurs, de la notion d'environnement.....	221
c. Vers une sensibilisation croissante des ingénieurs aux questions environnementales.....	223
Conclusion du chapitre 6	224

<p>CHAPITRE 7 Une évolution scientifique et pédagogique à la fois moteur et conséquence du tournant écologique et social.....</p>	225
--	------------

I. Amélioration et partage des connaissances scientifiques sur la dynamique littorale.....	225
A. Une amélioration des connaissances théoriques permise par les avancées technologiques.....	225
1. Quelques précurseurs aux fortes intuitions. Connaissances fragmentées jusqu'en 1950.....	226
a. Contribution des ingénieurs à l'échelle locale et ultra-locale de la vague.....	226
b. Contribution de la géomorphologie à une échelle plus petite : pour une vision d'ensemble.....	226
2. Le travail de coordination d'A. Guilcher.....	227
3. L'apport et l'évolution de la modélisation.....	229
a. Le rôle des modèles physiques.....	230
b. Les apports remarquables de la modélisation numérique.....	231
B. Amélioration des échanges entre scientifiques et ingénieurs.....	233
1. Le savoir des géomorphologues et des ingénieurs se construit en parallèle jusque dans les années 1980.....	233
2. Une construction progressive de l'interdisciplinarité.....	235
a. Les géographes tentent de se rapprocher des ingénieurs.....	236
b. Les ingénieurs ouvrent leurs portes aux scientifiques.....	236
c. La consolidation de l'interdisciplinarité par les programmes de recherche européens.....	237
3. L'importance de l'environnement immédiat de travail : le rôle des collègues.....	239
II. Une évolution récente du contenu de la formation initiale des ingénieurs.....	240

A. Évolution des enseignements dans le champ de l'environnement.....	241
1. Évolution de l'enseignement en France : cas de l'ENPC et de l'ENTPE.....	242
a. L'École Nationale des Ponts et Chaussées : pour une formation généraliste des ingénieurs.....	242
b. L'École Nationale des Travaux Publics de l'État bientôt renommée ?.....	245
2. Évolution de l'enseignement aux Pays-Bas : cas de la TUDelft et de l'Université de Wageningen.....	247
a. Un enseignement en environnement qui reste marginal à la TUDelft.....	247
b. L'université de Wageningen fait de l'environnement sa spécialité.....	248
3. Des préoccupations environnementalistes anciennes et soutenues chez les ingénieurs de l'Institution of Civil Engineers (ICE) en Angleterre.....	249
4. Comparaison des trois pays.....	252
B. Une apparition timide et tardive de cours en communication.....	254
1. Une obligation d'explication perçue comme une perte de confiance en l'ingénieur.....	254
2. Une formation en communication qui ne prépare que très récemment à cette nouvelle tâche.....	255
III. Incertitudes scientifiques face au réchauffement climatique : une prise en compte propre à chaque pays.....	257
A. Pays-Bas : des prévisions revues à la hausse, des projections établies jusqu'en 2200.....	257
B. Royaume-Uni : des prévisions ajustées sur le scénario le plus pessimiste.....	258
C. France : des projections moins alarmistes.....	259
D. Conséquences socio-économiques et spatiales pour les trois pays d'étude.....	260
Conclusion du chapitre 7	262

CHAPITRE 8	
Orientations politiques et contraintes économiques.....	263

I. Attitudes adoptées par les gouvernements néerlandais, anglais et français face aux tempêtes les plus sévères du XX^e siècle.....	263
A. Caractéristiques des tempêtes de 1953 et de 2010.....	263
B. Des stratégies nationales variées et progressivement mises en place ?.....	265
1. Vers une consolidation dynamique de la stratégie néerlandaise.....	265
2. L'oubli de la tempête de 1953 en Angleterre ?.....	269
3. Xynthia, ou la « zone noire » de l'État français.....	272
C. Quels leviers de communication mis en œuvre dans les stratégies nationales ?.....	278
1. Les Pays-Bas ou l'approche par le bien-être et de nouvelles opportunités à saisir.....	279
2. L'Angleterre : une approche essentiellement économique.....	280
3. La France : une approche systématiquement orientée vers les risques littoraux.....	281
II. Au-delà de la volonté politique, le rôle des ingénieurs dans la maîtrise des coûts.....	282
A. Le coût d'une solution, un facteur important dans l'orientation des choix finaux : exemple de Selsey/Medmerry en Angleterre.....	284
1. Bref historique et enjeux présents.....	284
2. Détails des enjeux et de l'analyse coûts/bénéfices déterminés pour les neuf sous-ensembles de la pointe Selsey/Medmerry.....	286
B. Les solutions innovantes de gestion côtière sont-elles les plus économiques ?.....	288
1. Le coût des revêtements de digue et de la dépoldérisation.....	288
2. Le coût des rechargements en sable.....	292
C. Comment les ingénieurs participent-ils à l'évaluation des coûts et bénéfices des solutions envisagées ?.....	293
Conclusion du chapitre 8	294

Conclusion de la partie 3	295
--	------------

PARTIE 4

Nouvelles perspectives pour les ingénieurs.....	301
--	------------

CHAPITRE 9

Des ingénieurs en perte de vitesse ?.....	303
--	------------

I. Trouver sa place en tant qu'ingénieur, dans la concertation..... 303

A. De la contestation à la concertation :

le cas de l'estuaire de l'Escaut occidental..... 303

1. Situation, enjeux et bref historique.....303
2. Le tournant du XX^e siècle ou l'amorce d'une nouvelle ère d'aménagement.....306
3. Un élargissement progressif des acteurs impliqués : les ingénieurs ne sont plus seuls pour décider de l'avenir de l'estuaire.....309

B. Les ingénieurs de l'ombre : l'exemple de Sainte-Marie-du-Mont..... 311

1. Présentation du site et objectifs du projet de faisabilité.....313
2. Organisation de l'étude en deux phases.....314
3. Une diversification remarquable des structures de gestion impliquées.....315

II. Une ouverture de postes clés à des non ingénieurs..... 318

A. Des géomorphologues, des juristes, des géographes et des biologistes qui montent

en puissance en France et en Angleterre..... 318

B. Henk Saeijs, un biologiste et écologue visionnaire..... 322

Conclusion du chapitre 9325

CHAPITRE 10

Nouveaux objectifs de gestion, nouveaux rôles des ingénieurs ?.....	327
--	------------

I. Des ingénieurs du génie civil au service des écosystèmes ?.....327

A. Des endiguements à la restauration des vasières : le cas de l'estuaire de la Loire.327

1. Le travail des ingénieurs du XIX^e siècle.....328
2. 1900-1950 : le faux abandon de la Loire par les ingénieurs.....331
3. 1950-1990 : un intérêt renouvelé pour l'estuaire de la Loire à travers le « tout-portuaire » ou le nouveau « terrain de jeu » des ingénieurs.....333
4. Le tournant des années 1990 ou la renaissance des vasières et le rôle inattendu des ingénieurs du génie civil.....337

B. L'ingénierie écologique : une nouvelle voie qui prend de l'ampleur chez les ingénieurs du génie civil.....344

1. Wallasea Island : une île « verte » façonnée par les ingénieurs du génie civil.....344
2. La restauration de vasières nord de l'estuaire de la Seine en 1990 : le dialogue entre écologistes et ingénieurs fait naître une nouvelle vocation pour les ingénieurs.....347

C. Un besoin des ingénieurs d'affirmer leur nouveau rôle.....351

1. Au sein même des bureaux d'étude.....351
2. Par la voie associative pour les polytechniciens.....353

II. Un renouvellement de la réflexion des ingénieurs sur la complexité, l'incertitude et la mobilité.....355

A. De la pensée simple et « mutilante » à la pensée complexe : le nouveau défi des

ingénieurs en charge de la gestion côtière.....355

B. Port 2000 ou l'itinéraire d'un projet complexe.....	358
1. Des mesures compensatoires guidées par des mesures dites « d'accompagnement ».....	360
2. Conditions de mise en œuvre et atouts d'un management adaptatif.....	362
3. Les ingénieurs tentent de conceptualiser cette nouvelle démarche complexe.....	364
C. Les maisons flottantes, une autre forme de mise en œuvre de la démarche complexe adaptée au littoral, qui intéresse les ingénieurs.....	367
1. Les Pays-Bas, leaders d'une révolution flottante.....	368
2. Une réflexion sur la mobilité de l'habitat, freinée en France par flou réglementaire.....	371
3. À chaque configuration son habitat flottant.....	373
Conclusion du chapitre 10	375

CONCLUSION GENERALE.....	377
---------------------------------	------------

Des ingénieurs toujours innovants, mais de plus en plus "verts"	377
Du "vert clair" au vert franc : une question d'influences culturelles.....	378
Une formidable évolution des ingénieurs du génie civil.....	380
Nouvelles pistes de recherche envisagées : comment habiter le littoral de demain ?...384	
Annexes.....	387
Bibliographie	406
Table des cartes	449
Table des figures	450
Table des photographies	452
Table des tableaux	454
Table des fiches	456
Liste des sigles et acronymes	457
Table des matières	459

Résumé

Qu'ils soient néerlandais, anglais ou français, les ingénieurs du génie civil ont toujours fait autorité en matière d'aménagement du littoral. À travers la recherche constante d'innovations techniques, ils ont contribué à modeler le littoral - voire à le créer de toute pièce aux Pays-Bas - et imposé une vision techniciste de ce territoire entre terre et mer. Le tournant écologique et social qui a caractérisé les années 1970 a remis en question cette vision imposée par les ingénieurs, créant un véritable bouleversement pour la profession. Cette étude comparée tente d'expliquer comment les ingénieurs se représentent aujourd'hui le littoral qu'ils aménagent, et comment, en concertation avec d'autres scientifiques, ils élaborent désormais des solutions innovantes en adéquation avec une gestion intégrée du littoral. Il ressort que l'opposition entre vision linéaire et statique du littoral, longtemps imputée aux ingénieurs, et celle, plus large et systémique, généralement attribuée aux autres scientifiques, s'estompe. Des différences culturelles entre les trois pays semblent plus pertinentes pour expliquer les avancées observées. Par ailleurs, les ingénieurs semblent être en train de dépasser et de s'approprier le mouvement « vert » des dernières décennies pour saisir de nouvelles opportunités, tant professionnelles que territoriales.

Mots-clefs

Littoral, ingénieurs, gestion, représentations, Europe du nord-ouest, Pays-Bas, France, Angleterre, technique, géographie de l'environnement, génie civil, génie environnemental.

Abstract

Whether Dutch, English or French, civil engineers have long been a recognized authority on coastal management. Through their relentless search for technical innovations, engineers have been instrumental in both shaping the coast – in the case of the Netherlands creating it almost entirely – and imposing on it a technical vision. The social and ecological movement which characterized the 1970's brought this engineering vision into question. This change in outlook would create real turmoil for the profession. This comparative study attempts to explain how nowadays engineers envision the coast they manage and how, in collaboration with other scientists, they now derive innovative solutions in line with an integrated coastal management. It appears that the classical opposition, between a vision long imputed to engineers of a static and linear coast and one attributed to other scientists who view the coast as something larger and more systemic, has become blurred. Cultural differences between the three countries are more relevant to explain the differences observed. Into the bargain engineers seem to have overtaken the « green » movement of the last decades to seize new opportunities, professional ones as well as territorial.

Key-words

Coast, engineers, management, representations, North-West Europe, Netherlands, England, France, technique, environment geography, civil engineering, environmental engineering.

Samenvatting

Of ze nu Nederlands, Engels of Frans zijn, de waterbouwers zijn autoriteit als het aankomt op het beheren van de kust. Met hun niet aflatende zoektocht naar innovatieve technieken hebben ze een bijdrage geleverd aan het vormen van de kustlijn – of om het even welke deel van Nederland dan ook – en hebben ze de kustlijn gevormd op een technocratische wijze. De ecologische en sociale omwenteling, kenmerkend voor de jaren '70, heeft vraagtekens gezet bij deze, door ingenieurs opgelegde, visie en veroorzaakte een serieuze omwenteling in het vakgebied. Deze studie probeert uit te leggen hoe de ingenieur vandaag de dag de kust behartigt en hij hoe tegenwoordig in overleg met andere wetenschappen nieuwe oplossingen ontwikkelt die in lijn zijn met een integraal kustbeheer. Het blijkt dat het onderscheid tussen de rechtlijnige en statische visie over de kust, lang toegeschreven aan ingenieurs, en de bredere en systematische aanpak, over het algemeen toegeschreven aan andere wetenschappers, vervaagt. Culturele verschillen tussen de drie landen lijken een belangrijkere reden te zijn voor de geconstateerde ontwikkelingen. Daarnaast lijken de ingenieurs zich de "groene" kennis in de afgelopen decennia eigen gemaakt te hebben om nieuwe kansen te grijpen, zowel voor hun vak als voor hun omgeving.

Trefwoorden:

Kustlijn, ingenieurs, beheer, vertegenwoordigen, Noordwest-Europa, Nederland, Frankrijk, Engeland, techniek, aardrijkskunde, civiele techniek, milieukunde.