



HAL
open science

Métabolisme français des plastiques : entre résistance des matières et des acteurs et promesse de circularité

Jeanne Perez

► To cite this version:

Jeanne Perez. Métabolisme français des plastiques : entre résistance des matières et des acteurs et promesse de circularité. Géographie. Le Mans Université, 2026. Français. ⟨NNT : 2026LEMA3001⟩. ⟨tel-05504813⟩

HAL Id: tel-05504813

<https://theses.hal.science/tel-05504813v1>

Submitted on 11 Feb 2026

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.



HAL Authorization

THESE DE DOCTORAT

DE
LE MANS UNIVERSITE

SOUS LE SCEAU DE
LA COMUE ANGERS – LE MANS

ECOLE DOCTORALE N° 604
Sociétés, Temps, Territoires
Spécialité : Géographie

Par

Jeanne PEREZ

**Métabolisme français des plastiques : entre résistance des
matières et des acteurs et promesse de circularité**

Thèse présentée et soutenue à Le Mans, le 12 janvier 2026

Unité de recherche : UMR CNRS 6590 ESO « Espaces et Sociétés » - Laboratoire ESO Le Mans

Thèse n° : 2026LEMA3001

Rapporteurs avant soutenance :

Sabine BARLES Professeure des universités, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Laurence ROCHER Professeure des universités, Université Jean Moulin Lyon 3

Composition du Jury :

Examineurs : Sabine BARLES
Marie-France DIGNAC

Baptiste MONSAINGEON
Laurence ROCHER

Direction de thèse : Mathieu DURAND
Fabienne LAGARDE

Professeure des universités, Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne
Directrice de recherche, Institut d'Ecologie et des Sciences de
l'Environnement de Paris

Chargé de recherche, Université Gustave Eiffel
Professeure des universités, Université Jean Moulin Lyon 3

Professeur des universités, Le Mans Université
Maître de conférences, Le Mans Université

**Métabolisme français des
plastiques : entre résistance
des matières et des acteurs et
promesse de circularité**

*À ma fille, Suzanne,
compagnonne de l'écriture de cette thèse,
blottie d'abord au creux, puis sur mon ventre,
au fil des pages.*

Sommaire

Sommaire	3
Remerciements	7
Avant-propos	9
Liste des sigles et acronymes	11
Conventions d'écriture	13
Introduction générale	15
Un objet d'étude insaisissable	15
L'interdisciplinarité au service de la compréhension des plastiques, un objet d'étude complexe	22
Une approche métabolique pour étudier les dynamiques des flux plastiques français	27
Questionnements de recherche : circulations des flux plastiques et rapports de pouvoir	33
Organisation du manuscrit	34
Chapitre 1 : De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques	41
Homo plasticus : du tout fabriquer au tout consommer	43
Homo detritus : du tout acheter au tout à jeter	56
Chapitre 2 : Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler	75
Les plastiques dans le viseur des textes législatifs pour une économie circulaire : perspectives européennes et françaises	75
Les plastiques écologiques et circulaires : une véritable solution ?	81
Les déchets plastiques qui résistent au recyclage	86
Chapitre 3 : Une approche interdisciplinaire pour investiguer les déchets plastiques	99
L'objet complexe qui justifie l'interdisciplinarité	101
Le métabolisme et l'interdisciplinarité comme outils pour comprendre les systèmes complexes	109
Conclusion partie 1	118
Chapitre 4 : Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques	121
Un affichage des données chaque fois orienté par un projet politico-économique	121
Un recensement des données semé d'embûches	127
Les étapes constitutives de la circulation des flux plastiques	133

Chapitre 5 : Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire	141
Le métabolisme français des plastiques en 2018	141
La réincorporation des plastiques recyclés : la presque exclusivité des boucles ouvertes	146
Comparatif 2022 des matières plastiques : quelles évolutions par rapport à 2018 ?	149
Une évolution lente des flux en fin d’usage	156
Conclusion partie 2	163
Chapitre 6 : Une enquête de terrain pour comprendre et analyser le système d’acteurs en place	167
À la rencontre des acteurs de la filière plastique française	168
Une grille d’entretien pour analyser les jeux d’acteurs de la filière plastique	171
Chapitre 7 : Structuration de la chaîne d’acteurs française des matières plastiques	175
Les acteurs de la fabrication des plastiques	175
Les acteurs de la consommation des produits plastiques : moteur d’influence sur la production et la demande	198
Gestion des déchets : des acteurs au cœur du système, mais aux marges de manœuvre limitées	210
Les collecteurs et trieurs : entreprises dites de recyclage	227
Chapitre 8 : La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours	239
Une économie circulaire performative, non encore « authentique », des plastiques	239
Des initiatives de circulation des plastiques à l’échelle locale	247
Conclusion de la partie 3	253
Conclusion générale	255
Les contributions de la recherche	255
Les limites rencontrées et perspectives de recherche	260
Bibliographie de la conclusion	263
Bibliographie	265
Ouvrages et articles scientifiques	265
Ouvrages et rapports techniques	274
Publications médiatiques	276

Table des figures	279	
Cartes	279	
Encadrés	279	
Figures	279	
Photographies		281
Table des matières		283
Annexes		289
Annexe 1 : Grille d'entretien type		289
Annexe 2 : Tableau des observations de terrain		290
Annexe 3 : Tableaux des matières plastiques		290

Remerciements

Bien que l'on dise souvent qu'un doctorat est une entreprise solitaire, mon parcours a été tout autre. Depuis mes premiers pas aux laboratoires, en passant par le travail sur le terrain et jusqu'à la rédaction de ce manuscrit, j'ai eu la chance d'être entourée, soutenue et inspirée par de nombreuses personnes. À toutes celles et ceux qui ont contribué à cette aventure, je tiens à exprimer ici ma profonde gratitude. Si les mots ne parviennent pas toujours à traduire pleinement ce que vous m'avez offert, sachez que ma reconnaissance est sincère et immense.

Je tiens, en premier lieu, à remercier ma direction de thèse, Mathieu Durand et Fabienne Lagarde, un duo aussi complémentaire qu'interdisciplinaire. Leur savoir et leur engagement m'ont offert un encadrement précieux, marqué par une grande disponibilité et une attention sincère à mon cheminement doctoral.

Mathieu Durand, merci infiniment. Tu as cru en moi dès le master, en m'accordant ta confiance et en m'offrant des opportunités uniques, notamment celles de mener des stages de recherche sur le terrain à Anjouan et à Saint-Martin, ainsi que de réaliser ce doctorat. Tout au long de notre parcours, il nous arrive parfois de croiser une personne qui nous ouvre des portes. Pour moi, tu es cette personne, et je t'en serai toujours reconnaissante.

Fabienne Lagarde, merci de m'avoir accueillie dans l'univers fascinant des chimistes ! Ton énergie débordante, ta capacité à tisser des liens relationnels et ton accompagnement ont été une source d'inspiration et de motivation. Tu m'as encouragée à élargir mes horizons, notamment en participant aux événements du groupement de recherche « Plastiques, Environnement et Santé » du CNRS, qui m'a permis de me sentir pleinement intégrée dans cette communauté scientifique. Ton enthousiasme et ton soutien ont été des moteurs essentiels tout au long de cette thèse.

Je tiens à vous remercier, vous deux, pour votre patience et votre bienveillance, ainsi que pour la confiance que vous m'avez accordée, l'autonomie considérable dont j'ai bénéficié dans mon travail et le temps que vous avez généreusement consacré à mon accompagnement.

Un grand merci à Laetitia Van Schoors et à Baptiste Monsaingeon, membres de mon CSI, pour avoir suivi de près mon évolution personnelle, ainsi que le développement de mon travail de thèse. Votre enthousiasme, vos encouragements et votre accompagnement bienveillant m'ont été d'un immense soutien.

Je souhaite exprimer ma profonde gratitude aux membres du jury pour avoir accepté d'examiner ce travail. Merci à Sabine Barles, Laurence Rocher, Baptiste Monsaingeon et Marie-France Dignac.

Je tiens à remercier chaleureusement toutes les personnes interrogées au cours de ma recherche, dont la participation et l'implication ont été essentielles à sa réalisation.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude envers les équipes du laboratoire Espaces et Sociétés (ESO) et de l'Institut des Molécules et Matériaux du Mans (IMMM), avec lesquelles j'ai eu l'opportunité de partager de nombreux échanges et dont plusieurs membres m'ont apporté un soutien précieux. Je tiens à exprimer ma gratitude envers l'équipe PIMS de l'IMMM, composée de Fabienne, Frédéric, Thierry, Célia, Anne, Mathieu, Nicolas, Marc, Margaux, Gustave, Amandine et Aïcha. Je vous remercie chaleureusement pour l'accueil réservé, l'intérêt porté à mon sujet de thèse, les explications claires et la volonté de partager vos recherches de manière accessible. Merci également pour les moments

conviviaux partagés lors des pauses et des déplacements : les discussions, les rires, les mots croisés et les parties de Pictionary revisité.

À Margaux et Gustave, doctorant·es et ami·es, je vous remercie du fond du cœur. Je me souviendrai toujours de tous les moments que nous avons partagés. Je me souviendrai des pauses cookies, des parties de football, des moments passés à la maison, des soirées, des sorties dans les bars et les restaurants, de la folle aventure du téléphone perdu et de nos communications scientifiques grand public. Je me souviendrai aussi de vos efforts pour apprendre l'histoire de la rudologie, ainsi que du partage de nos questionnements, de nos doutes et de nos réussites. Tant d'autres souvenirs précieux, et ceux encore à venir m'accompagnent grâce à vous.

Du côté du laboratoire ESO, je remercie Frédérique pour son aide administrative, ainsi que Sébastien pour son soutien concernant les cartographies et la mise en page de cette thèse. Je tiens également à exprimer ma gratitude à l'équipe encadrante du Master MIDECA, qui m'a accordé sa confiance pour enseigner : Mathieu, Adeline, Cyrille et Sandrine. Un merci particulier à Adeline Pierrat pour mon intégration à la mission de recherche Recityplast au Sénégal, pour les nombreuses discussions autour de la bière Gazelle et des arachides, ainsi que pour tes précieux conseils et ton regard toujours éclairé sur mon travail. Ta façon de conduire le terrain et d'aborder les défis du métier de chercheur·e a été une véritable leçon d'apprentissage.

Un merci tout particulier à Noémie et Simon, qui sont bien plus que des collègues doctorant·es, vous êtes des ami·es précieux. Noémie, merci d'avoir été mon épaulé, d'avoir soutenu mes moments de doute et de m'avoir accompagnée dans cette aventure doctorale, même à distance, depuis tes terrains d'étude à Brazzaville et Nkayi ou depuis ta belle Bretagne. Simon, merci pour tes appels téléphoniques et visioconférences, qui apportaient toujours une touche de légèreté, tes blagues et ton militantisme. Nos soirées au bar le Septante Deux, vos séjours chez moi, nos échanges sur nos thèses et leurs points communs, ainsi que notre projet d'article scientifique (qui n'a pas encore vu le jour, mais il viendra !) resteront des souvenirs impérissables. Sans vous deux, l'expérience de ma thèse aurait été bien moins joyeuse. Merci pour votre soutien, nos fous rires et notre entraide.

Je n'oublie pas Solène, Julien, Aline, Julie, Charlotte, Thelma, Léna, et tous·tes les jeunes chercheur·es de l'UMR ESO, des doctoriales de rudologie, du réseau « Déchets, Valeurs et Sociétés » et du groupement de recherche « Plastiques, Environnement et Santé », dont les échanges et la camaraderie ont enrichi cette expérience.

Un grand merci également à ma famille et à mes ami·es pour leur soutien sans faille. Merci à mes parents, pour leur accompagnement et pour la fierté et l'amour qu'ils ont toujours eu à chaque étape de mon parcours.

Enfin, un merci tout particulier à Thomas, mon compagnon de vie, qui a été à mes côtés tout au long de ces années de doctorat. Tu as su illuminer mes journées par ton humour, m'entourer d'amour quotidiennement et être une source inestimable de réconfort.

Avant-propos

« *Soutenir les prises de risques, la rupture et l'émergence* » (CNRS, 2023)¹

Cette présente thèse a été financée par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS), via un outil spécifique, la Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires (MITI), qui succède à la Mission Interdisciplinaire (MI). La MITI est un dispositif financier qui a pour but de soutenir essentiellement des « *projets exploratoires à la frontière de deux disciplines* » (CNRS, 2022, p. 14). Grâce à cet outil, le CNRS soutient chaque année aux alentours de 150 à 170 projets interdisciplinaires. Le doctorat est au cœur de ce financement, pour développer des thématiques de recherches entre instituts du CNRS.

Ce contexte de recherche particulier a permis l'ouverture d'un espace de collaboration interdisciplinaire entre le Laboratoire « Espace et Sociétés » (UMR ESO) et l'Institut des Molécules et Matériaux du Mans (UMR IMMM), favorisant des réflexions entre équipes, le partage d'expertises, l'échange de données, etc. Ce cadre de recherche a également permis de construire un cadre théorique et méthodologique commun, puis de bénéficier des contacts d'acteurs des différents réseaux respectifs, facilitant les démarches de collecte de données.

En plus de permettre un rapprochement disciplinaire, ce financement a contribué à prendre en charge les besoins matériels du doctorat. Doté d'une bourse de thèse de trois ans et d'un budget annuel de fonctionnement, cela a permis de mener le travail de recherche dans de bonnes conditions, ce qui n'est pas négligeable. Ce budget a financé notamment les déplacements pour les entretiens et observations de terrain, le matériel informatique et les logiciels, des déplacements pour participer à des colloques, etc.

¹ <https://miti.cnrs.fr/>, consulté en novembre 2023.

Liste des sigles et acronymes

ACV	Analyse du cycle de vie
ADEME	Agence française de l'environnement
ADIVALOR	Éco-organisme des déchets d'agro-fourriture
AGEC	Anti gaspillage et pour l'économie circulaire
AMORCE	Association nationale des collectivités, des associations et des entreprises pour la gestion des réseaux de chaleur, de l'énergie, et des déchets.
BNR	Bilan National du Recyclage
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNU	Conseil national des universités
CITEO	Éco-organisme des emballages ménagers et des papiers graphiques
COTREP	Comité Technique pour le Recyclage des Emballages Plastiques
DEEE	Déchets d'équipements électriques et électroniques
DEA	Déchets d'équipements d'ameublement
ELIPSO	Association professionnelle représentant les fabricants d'emballages plastiques
ESO	Espace et SOciétés
ET	Écologie territoriale
FEDEREC	Fédération professionnelle des entreprises du recyclage
GES	Emissions mondiales de gaz à effet de serre
GPI	Granulés plastiques industriels
IE	Industrial Ecology
IMMM	Institut des Molécules et Matériaux du Mans
Kt	Kilotonne
MFA	Metabolic flux analysis
MI	Mission Interdisciplinaire
MITI	Mission pour les Initiatives Transverses et Interdisciplinaires
MP	Microplastiques
MPR	Matière plastique recyclée
Mt	Millions de tonnes
OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OMA	Ordures ménagères et assimilés
ONG	Organisation non gouvernementale

OPECST	Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques
PGC	Entreprises de produits de grande consommation
PIE	Political Industrial Ecology
Plastics Europe	Fédération européenne des entreprises productrices de plastique
REP	Responsabilité élargie des producteurs
SE	Social Ecology
SRP	Syndicat des Régénérateurs de matières Plastiques
UE	Union Européenne
UPE	Urban Political Ecology
VHU	Véhicules hors d'usage
TGAP	Taxe générale sur les activités polluantes
WWF	World wildlife fund
ZWF	Zero waste France

En raison de leur nombre, les acronymes des matières plastiques sont répertoriés en annexe 3 dans les tableaux suivants :

- Tableau 1 : La première génération de plastiques : les plastiques semi-synthétiques du XIX^e siècle
- Tableau 2 : La deuxième génération de plastiques : les plastiques synthétiques du XX^e siècle
- Tableau 3 : La troisième génération de plastiques : les plastiques performants du XX^e et XXI^e siècle
- Tableau 4 : La quatrième génération de plastiques : les plastiques écologiques du XXI^e siècle
- Tableau 5 : Classification des matières plastiques par famille

Conventions d'écriture

Dans la mesure du possible, l'écriture inclusive est employée tout au long de ce manuscrit. Plusieurs formes d'écriture inclusive sont possibles, et notre choix s'est porté sur l'utilisation du point médian, qui se pratique comme suit : « mot au masculin (car il est dans la majorité des cas le plus court) + point médian + suffixe féminin. On ajoutera un « s » si l'on veut indiquer le pluriel sans ajouter de point médian supplémentaire. Quelques exemples : ingénieur·es, historien·nes, sénior·es. » (Haddad et *al.*, 2019).

Toutefois, elle n'est pas utilisée dans les citations des interlocuteur·es interrogé·es, car aucun·e ne l'a employée.

De plus, le mot « acteur » ainsi que chaque catégorie d'acteur mentionnée (par exemple : metteur sur le marché, recycleur, etc.) sont formulés au masculin lorsqu'ils désignent une catégorie, et non une personne en particulier.

Au niveau de la typographie, des choix ont été effectués :

En ce qui concerne les citations ou termes en langues étrangères, la traduction en français est directement dans le corps du texte et la citation originelle est référencée en note de bas de page.

De plus, les termes et expressions en langues étrangères apparaissent en italique, tout comme les citations lorsqu'elles portent sur une expression ou une phrase complète.

Enfin, nous avons choisi de ne pas mettre d'accent aux majuscules, suivant l'usage commun.

Introduction générale

La présente thèse porte sur les matières plastiques, appréciées comme un objet d'étude complexe, imbriquant à la fois des dimensions matérielles et sociales. D'un côté, leur dimension matérielle renvoie à leur composition physico-chimique intrinsèque ainsi qu'aux flux d'objets, de déchets et de pollutions qu'elles génèrent. De l'autre, leur dimension sociale s'exprime à travers les acteurs impliqués dans leur cycle de vie, les rapports de pouvoir qu'elles cristallisent et les territoires de leurs circulations. L'objectif est de tracer et d'analyser les circulations de ces matières à l'échelle nationale française, en mobilisant l'approche théorique et méthodologique du métabolisme territorial, qui permet d'analyser les échanges de matières et d'énergie à une échelle donnée. Appliquée aux plastiques, cette perspective invite à interroger non seulement les modalités de leur valorisation en fin de vie, mais aussi les conditions mêmes de leur production, de leur circulation, de leur accumulation et les tensions qui traversent la gestion de ces matières, notamment dans une optique de les circulariser.

Un objet d'étude insaisissable

Une matière qui résiste

Le terme plastique vient du grec *plastikos*, un adjectif signifiant « relatif au modelage », lui-même dérivé du verbe *plássein*, qui signifie « mouler » (Cauwet, 2017). Dans le domaine artistique, il est utilisé pour désigner ce qui est « relatif aux arts qui élaborent des formes : arts plastiques, sculpture, architecture, dessin, peinture » (Dictionnaire Le Robert, 2025). On le retrouve également dans le domaine de la chirurgie esthétique, où il évoque la transformation et le remodelage du corps. Mais associé au mot matière - comme dans matière plastique -, le terme plastique prend une tout autre signification : il désigne alors une catégorie de matériaux synthétiques, malléables, issus principalement de la pétrochimie. Sur le plan scientifique, la matière plastique est constituée de polymères synthétiques, c'est-à-dire de longues chaînes moléculaires formées par la répétition d'unités de base appelées monomères. À ces polymères s'ajoutent des additifs, substances incorporées pour modifier ou améliorer certaines propriétés du plastique (comme sa couleur, sa résistance aux UV ou sa stabilité thermique), ainsi que des charges, soit des matières inertes ajoutées pour faciliter la mise en œuvre du matériau ou en améliorer les performances techniques ou encore en réduire le coût (NF EN ISO 472, 2013). Du point de vue du grand public, le plastique devient synonyme de produits nouveaux (Baudet, 2017). C'est dire que, depuis leur invention au XIX^e siècle et leur démocratisation au XX^e, les matières plastiques sont devenues omniprésentes dans la société, ils se sont ainsi immiscés dans « la vie socio-matérielle contemporaine » (Gabrys et *al.*, 2013). Cette omniprésence des plastiques est telle qu'il devient presque impossible d'imaginer le quotidien sans eux : « imaginons que vous décidez de vous débarrasser de tous les plastiques que renferme votre maison ou votre appartement : les enfants n'auraient presque plus de jouets, la famille n'aurait plus guère d'articles de sport, la cuisine deviendrait presque vide, de même que la salle de bain ; et plus de télé, plus d'ordinateur, plus de portable, si ce n'est à l'état de squelettes... » (Bertolini, 2011). Et cette liste pourrait encore s'allonger avec les moyens de transport (voitures, avions, bateaux, etc.), les outils de bricolage et de jardinage, ou encore les plastiques utilisés dans les bâtiments, etc. D'abord utilisé comme substitut à certaines matières naturelles, telles que l'ivoire (Bensaude-Vincent & Sengers, 1993), le plastique

Introduction générale

s'est progressivement imposé comme le matériau symbolique de la modernité et de la consommation (Bertolini, 1991). Et cela, grâce à ses propriétés physico-chimiques de plasticité, qui permettent de le façonner sous toutes les formes inimaginables, le rendant « plus versatile qu'un couteau suisse » (Gontard & Seingier, 2020). Elles sont d'ailleurs de plus en plus produites et consommées depuis les années 1950, avec 1,5 million de tonnes produites à l'époque (Plastics Europe, 2008). Selon l'OCDE (2022), en raison de la croissance de la population et de l'augmentation des revenus, la quantité de plastiques produite à l'échelle mondiale a augmenté de plus de deux fois entre 2000 et 2019, atteignant ainsi 460 millions de tonnes. La consommation actuelle pourrait tripler d'ici 2060, passant à 1 231 Mt (OCDE, 2022). Tous les secteurs économiques de l'emballage au BTP, en passant par l'automobile, l'agriculture, l'électrique et l'électronique, l'ameublement, les loisirs ou encore le sport utilisent et mettent sur le marché des produits contenant, en tout ou en partie, des matières plastiques. Cela contribue à allonger continuellement la liste de produits fabriqués avec du plastique. De nombreux acteurs interviennent dans leur fabrication, notamment les polyméristes (chimistes spécialisés dans la fabrication des polymères), les plasturgistes (chargés de la mise en forme des objets en plastique) et les metteurs sur le marché (commercialisant les produits en plastique). Il existe aujourd'hui une grande variété de formulations plastiques, permettant d'adapter les propriétés chimiques, physiques et les usages des produits selon les besoins spécifiques et les demandes des metteurs sur le marché. Ainsi, le terme « matières plastiques » constitue en réalité un nom générique (Bertolini, 1999) regroupant une multitude de types de plastiques différents. Il existe trois grandes familles de plastiques : les thermoplastiques sont les plus répandus, ils ont la particularité de pouvoir être fondus, moulés, puis refroidis sans altérer leur structure, ce qui permet théoriquement leur recyclage. Parmi eux, on retrouve des plastiques, comme le polypropylène (PP), utilisés dans les emballages alimentaires ou les pièces automobiles, le polyéthylène téréphtalate (PET), couramment utilisé pour les bouteilles d'eau et de soda. À ceux-là s'ajoutent le polyéthylène (PE), le polystyrène (PS), ou encore le polychlorure de vinyle (PVC). Les thermodurcissables, à l'inverse, ne peuvent pas être remoulés une fois durcis. Leur structure chimique se modifie de manière irréversible sous l'effet de la chaleur, ils ne sont donc pas recyclables. Ils sont souvent utilisés dans des applications nécessitant une grande résistance mécanique ou thermique, comme les composants électroniques, les revêtements, ou certaines pièces de carrosserie. Les élastomères, enfin, sont des plastiques souples et élastiques, capables de s'étirer et de reprendre leur forme initiale, ils sont difficilement recyclables. On les retrouve notamment dans les joints, les pneus, les semelles de chaussures ou les objets en caoutchouc synthétique. Autrement dit, il n'existe pas un, mais une multitude de plastiques, chacun ayant un nom technique, une composition chimique spécifique et des propriétés bien distinctes. Cette diversité rend les plastiques à la fois très polyvalents, mais aussi complexes à identifier, « dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'un large public - dont la culture technique sur les matériaux, quels qu'ils soient, est peu développée - ne sache pas définir ce que sont les matières plastiques et n'en ait qu'une image floue. Le singulier est le plus couramment employé ; on peut lui reprocher sa "dénotation" péjorative, mais le public interrogé, lorsqu'il n'est pas composé de spécialistes, n'est généralement pas à même de citer les sortes les plus courantes. Il en résulte, pour ce matériau, un problème d'identité. » (Bertolini, 1999). Surtout, à cette complexité intrinsèque liée à la diversité des familles principales de plastiques s'ajoute une multitude de matériaux dérivés ou associés, tels que les plastiques composites² (polymère renforcé par un ou

² Un composite est défini comme un « produit solide comportant au moins deux phases distinctes comprenant un matériau de liaison (matrice) et un matériau sous forme particulière ou fibreuse » selon la norme Afnor NF EN ISO 472, 2013.

plusieurs types de fibres, comme le verre, le papier, le tissu) les plastiques multicouches³ (combinant différentes résines pour répondre à des exigences spécifiques, comme l'étanchéité ou la résistance mécanique), les plastiques intégrés aux textiles (sous forme de fibres synthétiques), ainsi que les colles et les peintures à base de polymères. Cette extension du champ des matières plastiques brouille encore davantage leur perception : le public, déjà peu outillé pour identifier les polymères de base, se trouve confronté à des matières plastiques dont l'apparence et l'usage échappent aux catégories traditionnelles. L'identité même des plastiques devient alors diffuse, insaisissable, englobant à la fois des objets du quotidien familiers et des matériaux techniques invisibles, intégrés dans les structures ou les revêtements. Ce flou sémantique et perceptif accentue encore plus la difficulté de saisir ce que recouvre véritablement le mot « plastique », souvent utilisé pour désigner une réalité bien plus vaste, technique et diversifiée.

Cette diversité est un avantage pour la performance industrielle et commerciale, mais un obstacle pour leur traitement en fin d'usage, car chaque type de plastique nécessite des processus spécifiques pour être trié, recyclé ou éliminé. Les propriétés chimiques inégales des plastiques empêchent souvent leur traitement conjoint et, dans de nombreux cas, même leur valorisation matière, car tous les plastiques ne possèdent pas des propriétés chimiques permettant le recyclage. Certains plastiques, comme les thermodurcissables, une fois durcis, ne peuvent pas être fondus et reformés, tandis que d'autres, comme les multicouches associant différents polymères, posent des défis techniques insurmontables pour les technologies actuelles de recyclage. Cette incompatibilité chimique limite considérablement les options de traitement en fin d'usage pour une grande partie des déchets plastiques. Seules, les plastiques faisant partie de la famille des thermoplastiques (représentant 77,7 % des plastiques vierges produits au niveau mondial en 2021 - *Plastics Europe, 2022*) sont en théorie recyclables, mais toutes les filières de recyclages de ces déchets ne sont pas toutes développées, comme nous le verrons dans le chapitre 2. De plus, la présence d'additifs et de contaminants (autres matériaux, restes alimentaires ou produits chimiques associés) limite la part des plastiques pouvant se diriger vers la voie du recyclage. C'est ainsi que nous arrivons à un triste constat global ; en 2021, la production mondiale de déchets plastiques a atteint 353 millions de tonnes, mais seulement 9 % ont été recyclés, tandis que 50 % ont été enfouis et 19 % incinérés. Pire encore, 22 % de ces déchets échappent aux systèmes de gestion, contribuant à une pollution plastique croissante avec des impacts désastreux sur les écosystèmes et la santé humaine (OCDE, 2022).

La persistance des plastiques, initialement perçue comme une force, se révèle aujourd'hui être l'un des principaux défis environnementaux et sanitaires à relever. Car, contrairement aux matériaux naturels comme le bois, les métaux ou le verre, les plastiques sont des matériaux synthétiques, entièrement conçus et fabriqués par l'humain, qui n'intègrent donc pas les cycles biogéochimiques naturels. Ils sont « "étrangers" au fonctionnement biologique de notre environnement. Ils ne peuvent pas trouver leur place dans le grand cycle de la nature - ou, du moins, pas sans persister durant plusieurs siècles dans l'environnement, en menaçant de causer des dégâts entre-temps » (Gontard & Seingier, 2020). Ainsi, les déchets plastiques se retrouvant dans l'environnement sont capables d'y rester pendant de nombreuses années, en se transformant et en se dégradant lentement « selon des processus qui dépendent des conditions environnementales, des milieux dans lesquels ils vont séjourner (sol, rivière,

³ Un multicouche est défini comme un « matériau composé de couches de matériaux similaires ou différents formant un stratifié assemblé de manière permanente » selon la norme Afnor NF EN 17615, *Plastiques - Aspects environnementaux – Vocabulaire, 2022*.

Introduction générale

plage, différents compartiments océaniques) » (Galgani et *al.*, 2020) et créent ainsi la pollution plastique. Cette pollution se manifeste à plusieurs échelles. D’abord, les macroplastiques (objets en plastique), tels que les sacs ou les bouteilles retrouvés dans les milieux naturels, dégradent les paysages et menacent la faune par ingestion ou étranglement. Sous l’action de l’érosion et de la dégradation (Duval, 2009), exacerbée par la lumière et l’oxygène, ces déchets macroplastiques se décomposeront finalement en microplastiques (< 5 mm de taille) ou encore seront libérés par l’usure de produits comme les pneus et les textiles synthétiques. Ils s’infiltreront dans les sols (Rillig, 2012), l’eau (Shim et *al.*, 2021), l’air (Allenet *al.*, 2021), les aliments (Kosuth et *al.*, 2018), dans le système digestif (Hou et *al.*, 2022), dans le sang (Leslie et *al.*, 2022) et également dans toutes les espèces qui ont été étudiées à cet effet. Enfin, les nanoparticules de plastique, encore plus petites (de 1 à 100 nanomètres), sont absorbées par les organismes vivants, y compris les humains, avec des effets potentiellement toxiques encore mal compris. Les plastiques libèrent également des substances chimiques, comme des phtalates et des bisphénols, qui sont des perturbateurs endocriniens (Fini, 2021). L’exposition prolongée à ces substances pourrait avoir des effets sur la fertilité, le développement neurologique, et le système immunitaire. La présence de plastiques dans la chaîne alimentaire humaine, par le biais de poissons et fruits de mer contaminés (Lebreton & Andrady, 2019), suscite également des inquiétudes croissantes. Ici, les plastiques résistent, car ils restent présents. Les plastiques sont en ce sens une matière ambivalente, à la fois incontournables et sources de pollution incontrôlable, faisant de la résistance par leurs propriétés mêmes qui les rendent difficiles à recycler et leur permettent de persister durablement dans nos écosystèmes et nos corps. En cela, les déchets plastiques incarnent une forme de résistance, définissable comme « ce qui s’oppose, ce qui contraint ou oppose une force à l’action »⁴, et ce, dès leurs propriétés physico-chimiques. Cette résistance renforce l’« objet insaisissable » (Grau & Retenauer, 2024) qu’ils représentent : « sa nature polyvalente et omniprésente le rend difficile à circonscrire. Un objet qui semble répondre parfaitement à la définition de plastique dans un contexte peut être exclu dans un autre. Que ce soit à cause de leurs compositions chimiques variées, de leurs nombreuses applications ou des perceptions culturelles et industrielles, les plastiques échappent constamment à toute tentative de classification rigide, encore plus à une définition simple et universelle » (Grau & Retenauer, 2024). Cette insaisissabilité s’ajoute à leur résistance matérielle : les plastiques ne se laissent pas aisément contraindre, ni dans leur usage, ni dans leur signification, ni dans les formes qu’ils prennent, ni dans les impacts environnementaux et sanitaires qu’ils provoquent. C’est ainsi, qu’« ils nous accompagnent tout au long de notre vie, du berceau (le biberon) au tombeau, et même après, car les fleurs en plastique durent beaucoup plus longtemps que les naturelles » (Bertolini, 2011).

Une promesse est une promesse

Au printemps 2017, durant sa première campagne présidentielle, Emmanuel Macron a formulé une promesse forte en matière de gestion des plastiques, qui allait poser la première pierre des futures

4 Appel à manifestation d’intérêt, réseau thématique CNRS Déchets, Valeurs et Sociétés (DVS), workshop 2, « Quand les déchets résistent, les déchets à l’épreuve de leurs acteurs, des systèmes et des matières », MSH Val de Loire, Tours, 5 et 6 novembre 2024.

mesures politiques⁵ sur la circularité des flux plastiques en France. Il a ainsi promis « permettre 100 % de plastique recyclé d'ici 2025 » (Déchet info n° 198, 2021). Cette promesse de campagne s'inscrit dans un contexte plus large de prise de conscience mondiale face à l'ampleur croissante de la pollution plastique et le développement de politiques environnementales qui tendent à se structurer autour de la transformation des modes de production, de consommation et de gestion des déchets plastiques, visant à substituer une logique de circularité à celle, historiquement dominante, de la linéarité. C'est dans ce contexte que les matières plastiques ont été progressivement « mises en politique » (Garcier, Martinais & Rocher, 2017) : de nature diverse, peu et difficilement recyclable et pour beaucoup échappant aux circuits de gestion pour finir dans l'environnement, elles deviennent progressivement des objets d'attention publique. En mobilisant la notion de « mise en politique » développée par le sociologue Yannick Barthe (2000) - définie comme « le processus « d'accès à l'espace politique » d'une cause, d'un sujet technique, d'un problème social qui relevait jusque-là d'un traitement non politique » (Garcier, Martinais & Rocher, 2017) - nous analyserons comment ces flux plastiques sont saisis par les pouvoirs publics et les acteurs économiques concernés, à travers des dispositifs réglementaires, techniques et discursifs visant à les rendre gouvernables (pourrions-nous dire mis en circulation, voire mis en circularité). C'est dans ce contexte de mise en politique des flux plastiques, où ces derniers deviennent objets de régulation et de débat, que s'inscrit le recours croissant au paradigme de l'économie circulaire, mobilisé comme cadre d'action privilégiée pour penser la transformation des systèmes de production, de consommation et de gestion des déchets.

Le concept d'économie circulaire (EC) prend racine dans les travaux de Kenneth Boulding en 1966. Il propose une alternative au modèle d'économie linéaire, qu'il qualifie d'« économie du cow-boy » pour son caractère exploiteur et infini, en introduisant à la place l'idée d'une « économie du vaisseau spatial Terre » (Vivien, 2020). Ce modèle visait à s'inscrire dans les limites de la biosphère en promouvant un système fermé où les ressources limitées et les capacités de la planète à absorber les pollutions étaient prises en compte grâce à l'économie circulaire. Dans son approche, il soulignait la nécessité de recycler continuellement les matières tout en utilisant des apports énergétiques renouvelables, principalement l'énergie solaire. Les analyses de Boulding ont inspiré d'autres chercheur·es (Dermine-Brulot & Torre, 2020), comme Ayres et Kneese (Kneese *et al.*, 1970), qui ont approfondi les relations entre économie et environnement via des bilans de matières, conduisant au concept de métabolisme industriel. Pearce et Turner (1990) ont élargi ce cadre en intégrant les notions d'aménités environnementales, qu'elles soient positives ou négatives, et en proposant des mécanismes pour réguler les flux matériels et immatériels afin de concilier croissance économique et contraintes biophysiques. Bien que le terme d'« économie circulaire » soit récent, ses principes remontent à des pratiques anciennes de récupération et de réutilisation des matières. Avant l'avènement de la société industrielle, la gestion des ressources et des déchets reposait sur une circularité spontanée. Les chiffonniers, par exemple, jouaient un rôle clé dans la récupération de matériaux pour divers usages (Barles, 2005). Cependant, l'extraction intensive de ressources et la montée en puissance du modèle linéaire ont progressivement éclipsé ces pratiques.

5 « Depuis 2017, le Gouvernement, sous l'égide du Président de la République, a mis en place plusieurs mesures » sur les plastiques tels que l'interdiction de certains produits à usage unique en plastique, un soutien financier au tri, recyclage et à la réincorporation de plastiques recyclés, etc. Plan plastique 2025-2030, dossier de presse, Ministère de la Transition Écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, 2025, p. 6.

Introduction générale

Les déchets « sont aujourd'hui la résultante d'une société de consommation où le rapport au matériel a été progressivement distendu en valeur tout en étant accru en flux » (Durand, 2024).

Aujourd'hui, l'économie circulaire s'inscrit dans un cadre politique marqué par la transition écologique et sociale, qui supprime le développement durable. Cette approche vise à concilier croissance économique, équité sociale et préservation de la planète, tout en s'appuyant sur une vision plus pragmatique et opérationnelle des enjeux environnementaux (Dermine-Brullot & Torre, 2020). Au niveau européen, ce concept s'est structuré autour de stratégies favorisant la circularité des matières. L'émergence de l'économie circulaire est indissociable des efforts européens entrepris dès le début des années 2010 avec la création de la Fondation Ellen MacArthur et la publication d'une feuille de route par la Commission européenne en 2011 (Dermine-Brullot & Torre, 2020), qui a donné une orientation stratégique aux États membres, axée sur la réduction des déchets, la réutilisation des matériaux et l'innovation industrielle. Ces initiatives ont ensuite été adoptées et adaptées au contexte national français⁶. En France, l'économie circulaire commence à prendre une place centrale dans les politiques publiques à partir de 2013, avec la création de l'Institut de l'économie circulaire. Cet institut a permis une diffusion rapide du concept auprès des entreprises et des collectivités territoriales. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) s'est ensuite approprié le sujet, proposant une définition opérationnelle en distinguant « 3 domaines d'action (gestion des déchets, offre des entreprises et consommation) répondant à 7 axes stratégiques qui correspondent à autant de modalités de fonctionnement des entreprises et des particuliers » (Dermine-Brullot et Torre, 2020).

Dans cette approche de l'économie circulaire, la circulation des flux de matières est une dimension centrale, qui cherche à réorganiser les processus économiques afin de minimiser les déchets et de maximiser la réutilisation des ressources. Cependant, cette logique de « circularité » n'est pas simplement une question technique, mais s'inscrit également dans un imaginaire socio-politique plus large. Comme le souligne Garcier *et al.*, (2017), le vocabulaire associé à la circularité est riche en expressions, telles que « cycles », « boucles » ou « circuits », qui imprègnent les discours sur l'économie et les politiques environnementales. Ces termes ne se contentent pas de décrire des processus ; ils véhiculent aussi une vision normative de l'organisation sociale et économique des flux. L'idée de « bouclage » des flux de matières devient ainsi un objectif à atteindre, symbolisant une économie moins polluante, dans laquelle les matières sont réutilisées plutôt que perdues.

Au regard des flux plastiques, l'Union européenne (UE) a progressivement accordé une attention particulière à leur circularité, en adoptant plusieurs directives européennes. En 2018, elle marque un tournant en lançant une stratégie spécifique pour les plastiques dans le cadre de son plan d'action pour l'économie circulaire (Commission Européenne, 2018). Cette stratégie a donné lieu à une série de réglementations, dont la première, adoptée en janvier 2018, est la Stratégie européenne pour les matières plastiques dans une économie circulaire. Ce cadre d'action couvre l'ensemble du cycle de vie des plastiques. En l'intégrant à son plan pour l'économie circulaire, l'UE affirme sa volonté de faire des plastiques une priorité dans sa transition écologique, tout en soutenant une industrie plastique dynamique et compétitive (Dallem, 2024). En France, ces directives européennes se sont concrétisées par un ensemble de lois, telles que la loi Anti-gaspillage pour une Économie circulaire (Agec), la loi climat et résilience, ou encore la loi EGALIM (États Généraux de l'Alimentation), qui poussent à modifier

⁶ L'économie circulaire est définie dans la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte à l'article L. 110-1-1. <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFSCITA000031044389> consulté en juin 2025.

les dynamiques des acteurs des filières plastiques en cherchant à redéfinir les circuits de gestion des flux plastiques. En parallèle de ces lois, des financements publics successifs sont mobilisés, à travers le Plan France Relance⁷, lancé en septembre 2020 à la suite de la crise sanitaire de la COVID-19, afin de soutenir la relance économique tout en accélérant la transition écologique. Dans ce cadre, plusieurs appels à projets sont concernés par les flux plastiques, comme par exemple l'« aide au réemploi, à la réduction et à la substitution des emballages et contenants en plastique, notamment à usage unique »⁸, l'appel à projets « ORPLAST : Objectif Recyclage PLASTiques »⁹, l'appel à projets « Circularité avancée des plastiques, textiles et élastomères (CAPTE)¹⁰ », ou encore l'appel à projets « Recyclage des plastiques, composites et élastomères »¹¹. L'objectif est d'adapter les capacités industrielles françaises à l'accroissement de la prévention et à la valorisation de ces flux. En ce sens, les matières plastiques deviennent un vrai enjeu politico-économique.

Dans cet idéal de « bouclage » des flux de matières promu par ce nouveau paradigme, le recyclage des déchets plastiques s'est imposé comme l'une des priorités majeures (Desvaux, 2021). Cette approche tend à négliger la hiérarchie des 3R - Réduire, Réutiliser, Recycler - définie par la directive 2008/98/CE, qui place la réduction à la source et la réutilisation avant le recyclage, « pourtant, dans les faits, les schémas circulaires présentant le recyclage donnent l'illusion qu'il pourrait, à lui seul, assurer la circularité de l'économie des plastiques. Une telle vision présente un double risque : celui de participer à la normalisation des déchets, mais aussi celui de dissimuler les alternatives à la consommation de plastiques, en faisant croire qu'il est possible de contrôler les déchets » (OPECST, 2023). En se concentrant principalement sur le recyclage, une solution plus visible et techniciste de la circularité des flux plastiques est privilégiée, mais nous le verrons, sa mise en œuvre effective est bien plus complexe. Le recyclage est défini dans la directive européenne 2005/32/CE comme « le retraitement de déchets, dans un processus de production, aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins, mais à l'exclusion de la valorisation énergétique¹² ». Pour pouvoir être recyclées, les matières plastiques doivent suivre en France des étapes classiques du tri à la source et de la collecte sélective des déchets, puis de tri, voire de sur-tri par typologie de matière, pour enfin être recyclées et réincorporées dans de nouveaux produits. Cette chaîne en apparence bien structurée n'est pas toujours fonctionnelle face à la diversité des matières plastiques jetées, mais aussi, car le recyclage ne se réduit pas à une simple opération technique : c'est un acte profondément ancré dans les pratiques sociales (Garcier & Verrax, 2017) (par exemple, le geste de tri par les consommateurs finaux) et dépendant d'enjeux économiques (comme la rentabilité du recyclage ou la demande en matières recyclées par les acteurs économiques). Ainsi, le bon fonctionnement de cette chaîne repose à la fois sur un ensemble d'acteurs, la capacité industrielle à traiter les déchets et la structuration économique des filières de valorisation.

7 30 milliards d'euros sont alloués au volet écologie et transition énergétique, <https://www.economie.gouv.fr/plan-de-relance> consulté en juin 2025.

8 <https://agir.Ademe.fr/sites/default/files/Substitution%20emballages%20plastiques%20et%20r%C3%A9emploi%20-%20Conditions%20d%27%C3%A9ligibilit%C3%A9%20et%20de%20financement%20-%202022.pdf> ? consulté en juin 2025.

9 <https://les-aides.fr/aide/WHYP3w/Ademe/appele-a-projets-orplast-objectif-recyclage-plastiques.html> consulté en juin 2025.

10 <https://agir.Ademe.fr/aides-financieres/aap/circularite-avancee-des-plastiques-textiles-et-elastomeres-capte> consulté en juin 2025.

11 https://agir.Ademe.fr/sites/default/files/CDC%20AAP%20Recyclage%20des%20plastiques%20volets%201%20et%202_03072023.pdf consulté en juin 2025.

12 <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32005L0032> consulté en juin 2025.

Introduction générale

Malgré cette focalisation sur le recyclage, les taux peinent à décoller sur le territoire national, avec une production annuelle de 4,5 Mt de déchets plastiques, soit environ 70 kg par an par habitant, seulement 23 % des déchets plastiques sont recyclés contre 41 % de plastiques incinérés et 36 % mis en décharge et environ 100 000 tonnes de plastiques se retrouvant dans l'environnement (Ministère de la Transition Écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, 2025). La promesse faite en 2017 par Emmanuel Macron d'atteindre 100 % de plastique recyclé d'ici 2025 a été reprise dans la loi Agec de 2020, mais de façon édulcorée. L'article 5 de cette loi stipule désormais que la France doit « tendre vers l'objectif de 100 % de plastique recyclé d'ici le 1^{er} janvier 2025 ». La nuance sémantique entre « permettre » et « tendre vers » n'est pas anodine : elle traduit un affaiblissement de l'engagement politique, remplaçant une obligation concrète par une intention vague. Ce glissement lexical rend l'objectif moins contraignant (Déchet Info n° 198, 2021). Or, nous sommes en 2025, et le constat est sans appel : la France est encore loin des 100 % de plastique recyclé promis. Le recours au langage performatif dans le discours : « en le disant, on le fait », (Austin, 1991) révèle ici ses limites. La parole, si elle peut parfois initier l'action, ne suffit pas à garantir sa réalisation, surtout concernant les matières plastiques, qui, nous le démontreront, sont des matières complexes (*cf.* chapitre 1), difficilement recyclables (*cf.* chapitre 2), et dépendantes d'un système sociotechnique résistant face à sa propre transformation (*cf.* partie 3).

Cette situation soulève des questions fondamentales sur l'intégration des plastiques dans un modèle véritablement circulaire. Alors que le recyclage reste une solution largement privilégiée, ne constitue-t-il pas, paradoxalement, un obstacle à une circularité plus « authentique » (Arnsperger & Bourg, 2016), fondée sur des démarches telles que la réduction à la source, l'interdiction ciblée, ainsi que la réutilisation et le réemploi des plastiques ? L'économie circulaire peut-elle réellement apporter une transformation sociotechnique durable aux filières plastiques françaises ? Cette thèse s'efforcera d'explorer ces diverses dimensions en examinant les apports de l'économie circulaire aux filières plastiques, leurs potentialités de transformation, et les tensions qu'elle génère entre les acteurs concernés. Nous analyserons également dans quelle mesure les choix actuels des acteurs favorisent ou freinent une transition vers une circularité ambitieuse des flux plastiques.

L'interdisciplinarité au service de la compréhension des plastiques, un objet d'étude complexe

Un objet d'étude complexe

Nous l'avons vu précédemment, les plastiques soulèvent de nombreuses problématiques : matière malléable, elle a suscité au cours du temps une conquête des possibles. Depuis le 19^e siècle, les polyméristes et plasturgistes ne cesseront d'inventer et de produire de nouveaux plastiques (Heinrich-Böll-Stiftung et Break Free From Plastic, 2020). La forte accélération de la consommation pose une difficulté majeure, car elle est corrélée à une production de déchets plastiques en constante augmentation, mettant sous pression les systèmes de gestion et conduisant à des millions de tonnes de déchets rejetés parfois dans des exutoires contrôlés, parfois directement dans l'environnement (Jambeck et *al.*, 2015). La persistance dans le temps de ces matières et de leurs sous-produits de dégradation constitue une menace pour l'état des milieux naturels et le monde du vivant. Cette accumulation détritrique, des macro jusqu'aux nanoplastiques, touche le monde biologique et les êtres vivants (Leslie et *al.*, 2022), aussi bien dans les espaces anthropisés que dans les milieux naturels et peu accessibles (Monsaingeon, 2014). Les

matières plastiques sont donc aujourd'hui au centre de débats sociétaux et de crises environnementales globales. Les industriels ressentent¹³ les critiques de l'opinion publique qui dénonce un manque de conscientisation de l'industrie des plastiques face aux menaces identifiées, ainsi que des actions tardives pour limiter les impacts environnementaux à l'œuvre (Moisan, 2021). Les flux plastiques et leurs conséquences ne sont pas totalement maîtrisés ; ils deviennent un sujet politique difficile et global. Pour autant, leur mise sur le marché ne cesse de continuer et de croître en volume, stimulée par une consommation de plus en plus massive et diversifiée à mesure que les classes moyennes se développent à l'échelle mondiale.

Ces complexités imposent de comprendre leurs circulations de façon fine et détaillée. En conséquence, étudier leur cycle de vie, de leur conception, leur commercialisation jusqu'à leur rejet, c'est essayé de comprendre un système complexe et mouvant, où s'entrecroisent des sous-systèmes d'acteurs aux relations et intérêts variés, des territoires plus ou moins dotés en infrastructures et équipements et enfin des flux de ressources, de produits et de déchets difficilement traçables. Une méconnaissance de ce qu'ils sont, de comment ils se nomment, de leurs possibles traitements en fin de vie et de la pollution qu'ils provoquent, ajoute un flou et renvoie les plastiques et tout ce qui les entourent (acteurs, techniques, infrastructures) à quelque chose d'obscur, d'inintelligible. La première partie de ce manuscrit s'attèlera à poser le cadre du système sociotechnique complexe des plastiques, prouvant qu'il est plus que nécessaire d'intégrer une approche interdisciplinaire pour mieux les comprendre et les analyser.

L'interdisciplinarité est difficile à définir, car c'est un terme polysémique et flou (Morin, 1994) ou encore, un concept valise (Frodeman, 2019) englobant toutes pratiques qui franchissent les frontières disciplinaires. Cependant, l'interdisciplinarité dans la recherche naît généralement d'un double constat : le premier vient de la volonté de résoudre des problèmes complexes qu'ils soient générés par l'appétit intellectuel du monde scientifique ou par les transformations de la société (Jolliveta & Legay, 2005) ; le deuxième facteur, en lien direct avec le premier, est que le cadre disciplinaire établi ne permet pas de comprendre, par l'entreprise d'une seule discipline, l'objet d'étude complexe identifié (Lemay & Darbellay, 2014). Ainsi, l'interdisciplinarité peut être vue comme une interface réunissant des chercheur·es de disciplines diverses pour appréhender un questionnement de manière holistique.

La pollution plastique constitue un objet d'étude complexe (Mitrano, Bigalke, Booth *et al.*, 2023). En tant que telle, elle soulève des enjeux multiples - environnementaux, sanitaires, économiques et sociaux - qui nécessitent la mobilisation de champs de recherche divers. Si plusieurs disciplines s'y intéressent déjà, telles que la chimie, la physique, l'écotoxicologie, la microbiologie, l'océanographie et plusieurs disciplines de sciences humaines et sociales (Paul-Pont *et al.*, 2025), un glissement vers une approche interdisciplinaire s'avère indispensable pour appréhender l'ensemble de ses dimensions. Cette transition permet de croiser les regards, les méthodes et les savoirs afin de mieux comprendre les mécanismes à l'œuvre et d'identifier de possibles leviers d'action. Plus largement, nous inscrivons les plastiques eux-mêmes comme un objet complexe d'étude : notre intérêt pour les plastiques se porte à la fois sur les pratiques et les modes de gestion, comme sur la composition des matériaux. Nous faisons l'hypothèse que le croisement des disciplines permettra de ne plus aborder de manière cloisonnée le début de la chaîne (production des plastiques) ou, à l'inverse, la fin de la chaîne (gestion des déchets plastiques), mais de considérer l'ensemble de cette chaîne dans sa globalité. C'est pourquoi cette recherche se trouve à un carrefour disciplinaire que nous nommons la « rudochimie ».

13 Entretiens menés auprès des professionnels de la chaîne de valeur des plastiques français entre 2022 et 2023.

La rudochimie

Ce qui est désigné par « rudochimie » reflète l'interdisciplinarité au cœur de ce travail de thèse, à la croisée de la rudologie et de la chimie de l'environnement. Si cette approche s'est imposée initialement par la nature même du sujet, elle est rapidement devenue un véritable choix scientifique, pleinement assumé, offrant un regard original et de réels apports à la recherche. Les matières plastiques, en effet, relèvent à la fois de la chimie (par leur production), de la géographie sociale (par leur ancrage et leurs usages à l'échelle des territoires), de la rudologie¹⁴ (par leur cheminement en fin d'usage), et de la chimie de l'environnement (par leurs impacts dans les milieux naturels). Il convient ainsi de préciser les ancrages disciplinaires de cette recherche, en particulier la chimie et la rudologie qui ont été mobilisées. L'interdisciplinarité qui en découle se structure autour de la matière plastique, laquelle constitue à la fois un objet d'étude commun et un vecteur de dialogue entre les disciplines.

La chimie, science de la matière et de ses transformations, puise ses origines à l'Antiquité, en particulier à la fin de la période hellénistique, au IV^e siècle après J.-C., avec l'émergence de l'alchimie, née du croisement des savoirs égyptiens, grecs et arabes. C'est avec l'étude des métaux que commence véritablement son histoire : l'extraction, la fusion et l'alliage sont les premiers gestes chimiques. Ces savoir-faire s'intègrent dans cette discipline ancienne mêlant procédés expérimentaux, symbolisme mystique et doctrines cosmogoniques, tout en s'appuyant sur des pratiques concrètes telles que la distillation, la sublimation, la filtration, la dissolution, la calcination ou encore la coupellation, autant de techniques qui préfigurent la chimie moderne (Bensaude-Vincent & Stengers, 1993).

Il faudra attendre le XVIII^e siècle pour que la chimie se constitue véritablement en tant que science. Issue de l'alchimie, longtemps entourée de mystère et considérée comme une discipline occulte, elle devient progressivement une science rationnelle. Le terme évolue également : de l'alchimie, on passe à chymia ou chimica en latin, puis à chymie, avant que le « y » ne disparaisse pour donner naissance à la chimie en français (Baudet, 2017). À cette époque, elle est encore perçue comme une subdivision de la physique, « la physique est l'étude du monde, de la nature et de leurs lois (étoiles et planètes, mécanique qui est l'étude des mouvements, optique qui est l'étude de la matière, etc.), alors que la chimie est l'étude de la composition de la matière, formée de substances extrêmement diverses » (Baudet, 2017). C'est en 1789 qu'Antoine Lavoisier, chimiste emblématique, avec son *Traité élémentaire de chimie* marque le basculement vers une chimie moderne, fondée sur la quantification et la conservation de la masse. Sa célèbre formule « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » fonde l'approche analytique qui perdure jusqu'à aujourd'hui.

Au XIX^e siècle, la chimie se spécialise et se met au service de l'industrie : teintures, explosifs, engrais et nouveaux matériaux : « si l'on voulait, comme on le fit jadis pour l'âge de la pierre, l'âge du bronze ou l'âge du fer, caractériser ce siècle par référence au type de matériau dominant l'univers technique, on serait bien embarrassé. Plusieurs candidats se présentent aussitôt : caoutchouc, plastiques, métaux légers et alliages métalliques, matériaux composites, céramiques, silicium. Une jungle de matériaux divers, voilà notre époque » (Bensaude-Vincent & Stengers, 1993). Cette prolifération des matériaux témoigne d'un changement profond de paradigme : la matière n'est plus seulement ce dont les choses sont faites, elle est ce que l'humain en fait et en quoi il la

14 La rudologie (de *rudus* en latin qui signifie décombres) « désigne l'étude systémique des déchets (territoriale, sociale, politique et technique) et vise à comprendre ce que l'objet déchet révèle de nos sociétés (Gouhier, 2000) » (Durand, 2024 : 22).

transforme : « la matière connaît de tels changements qu'elle cesse alors de demeurer ce qu'elle était, une substance. Des puissances transformatrices (science, industrie, technique, culture même) la modifient (...) » (Dagognet, 1989). Autrement dit, la matière est considérée comme une entité malléable, constamment façonnée par l'action humaine. Dès lors, « le mot de matière s'éclipse d'ailleurs devant celui de matériau : la matière finit par n'exister plus que comme abstraction et genre » (Dagognet, 1989). Le matériau devient une entité fonctionnelle (Dupeux, 2018), conçue pour répondre à un usage spécifique¹⁵, résultat du travail de chimiste : « plus la connaissance microscopique de la matière devient opératoire au niveau industriel, plus les savoirs et savoir-faire du chimiste sont mobilisés. Faire le pont entre la définition des performances d'un produit à l'échelle macroscopique et la maîtrise des structures au niveau microscopique, mettre en œuvre les procédés de synthèse, partout le chimiste est appelé à jouer un rôle essentiel dans le secteur des matériaux » (Bensaude-Vincent & Strengers, 1993).

C'est dans ce contexte que naît la chimie macromoléculaire, les chimistes organiciens découvrent que certaines substances distinctes ont pourtant la même formule brute, phénomène appelé isomérisation. D'autres se distinguent seulement par un facteur multiple : c'est la polymérisation. En 1868, Marcellin Berthelot réalise la polymérisation de l'acétylène (C₂H₂) en benzène (C₆H₆), ouvrant la voie à une nouvelle compréhension des assemblages moléculaires (Baudet, 2017), même si cette découverte n'est pas tout de suite considérée comme majeure (Baudet, 2017). C'est Hermann Staudinger, en 1925, qui théorise les macromolécules¹⁶. Il montre que certaines substances, comme le polystyrène, issues du styrène, sont formées de chaînes très longues de molécules répétées. Il introduit le concept de macromolécules et démontre que de nombreux produits naturels (cellulose, caoutchouc, amidon) sont eux-mêmes des macromolécules : « quand donc, d'une part, les progrès industriels et, d'autre part, les travaux de recherche fondamentale (surtout ceux de Staudinger) ont permis de comprendre que certains produits naturels étaient des macromolécules (la cellulose, le caoutchouc) et que l'on pouvait produire, au laboratoire ou à l'usine, à l'échelle industrielle, toutes sortes de macromolécules pouvant servir de caoutchouc de remplacement, de résines de remplacement ou de fibre de remplacement, le secteur scientifico-technique des polymères, déjà en plein essor, va littéralement exploser » (Baudet, 2017). Les polymères synthétiques deviennent alors l'un des piliers de l'industrialisation du XX^e siècle. Pourtant, comme le suggère l'adage de Lavoisier : « Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme » ... ces matériaux, une fois produits, perdurent bien au-delà de leur usage et « tel le monstre de Frankenstein, ce matériau revient aujourd'hui hanter ses créateurs » (Manglou, 2024). L'occultation de son devenir et des problématiques qu'il soulève peut s'expliquer en partie par la transformation (poussée) de sa matérialité : « je pense surtout qu'avant cela, dans l'histoire de l'humanité, tous les matériaux que l'on utilisait pouvaient revenir à la nature. Ils en provenaient directement et étaient donc « faits pour » réintégrer les cycles biogéochimiques naturels. (...) Le cuir, le papier, ou le tissu sont digérés par les micro-organismes des sols : redevenus petites molécules, ils réintègrent le cycle du carbone via la photosynthèse végétale. Qui pouvait penser que le plastique se comporterait différemment de toutes

15 « De manière symbolique et résumée, un matériau est une matière dont on fait un matériel. De manière plus précise et plus complète : Tous les matériaux ont donc un rôle direct à jouer dans une fonction ou une combinaison de fonctions de l'objet qu'ils constituent. Une terminologie courante consiste à distinguer, parmi les dizaines de milliers de matériaux utilisés dans les applications de toutes sortes, les matériaux de structure, dont la fonction essentielle consiste à supporter des sollicitations mécaniques, et les matériaux fonctionnels dont le rôle principal est d'un autre registre physico-chimique : optique, électrique, magnétique, thermique, etc. » (Dupeux, 2018).

16 Pour ses travaux importants sur les plastiques, il reçoit le prix Nobel de chimie en 1953.

Introduction générale

les matières auxquelles l'homme avait toujours eu recours ? » (Gontard & Seingier, 2020). Les déchets plastiques font partie de la « fraction matérielle du monde » qui ne disparaît jamais entièrement (Cavé et al., 2024). Ils sont aussi « susceptibles d'évoluer dans l'environnement, mais ils parlent à ceux qui savent les comprendre, voir les apprivoiser » (Bertoloni, 2011). Une communauté de chercheur·es issu·es de disciplines variées s'intéresse à leur devenir après usage, notamment à travers les travaux de certain·es d'entre eux·elles portant spécifiquement sur les déchets, « la science, même celle des déchets, c'est d'abord la curiosité, la découverte et l'émerveillement. Oui, on peut être surpris et émerveillé dans le monde des déchets, puisque les déchets nous révèlent la face cachée de notre monde... des étoiles aux microbes » (Duquennoi, 2024).

Le concept de déchet, tel que nous le comprenons aujourd'hui, trouve ses racines au XIX^e siècle, dans le contexte des sociétés industrialisées. Cette époque marque une rupture majeure : les rebuts, autrefois réintégrés dans les chaînes de production, cessent progressivement d'y être associés, le déchet est alors « inventé » (Barles, 2005). Cette transition accompagne l'émergence d'une économie linéaire, reposant sur l'extraction de ressources naturelles, leur transformation en biens de consommation, puis leur rejet une fois utilisés. Le déchet acquiert ainsi un statut distinct, défini par un acte d'abandon. En droit, ils sont formellement désignés dans la directive-cadre européenne de 2008 et dans l'article L. 541-1-1 du Code de l'environnement, comme « toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention ou l'obligation de se défaire ». Cette définition juridique met l'accent sur l'intention ou la nécessité de s'en débarrasser, soulignant le rôle actif du détenteur dans la transformation d'une matière ou d'un objet en déchet (Barbier, 2021). Cette manière de définir le déchet constitue une « invention récente et localisée » des sociétés industrielles du Nord, qui s'inscrit désormais « dans un modèle de développement et une culture industrielle devenue globale » (Monsaingeon, 2017).

En dehors du cadre juridique, la notion de déchet peut simplement qualifier, « ce qui gît dans la poubelle, ce qui encombre les décharges, ce qui «pollue la nature» » (Monsaingeon, 2017). En d'autres termes, le déchet est intuitivement associé à des lieux spécifiques, des « marges » (Gouhier, 1972) et à des impacts environnementaux néfastes engendrés par leur accumulation prolongée et à leurs propriétés intrinsèques. Cette perception s'accompagne d'une dimension symbolique forte. Le déchet est souvent décrit comme une « entité négative », une chose altérée ou sans valeur. Ce caractère dégradé se reflète dans les termes qui lui sont communément associés, tel que rebut, immondices ou ordures (Crozes, 2019). Désignés comme des « matérialités étranges » aux formes et natures multiples « incommensurables, synthétiques, hétérogènes, toxiques, durables, complexes », les déchets apparaissent désormais comme insaisissables (Cavé, De Pin, Tastevin, 2024).

En somme, le déchet est bien plus qu'un simple objet rejeté : il incarne une rupture dans le cycle de l'utilité (Durand, 2024) et porte une charge symbolique marquée, car il dépasse sa simple matérialité pour refléter des dynamiques sociales, culturelles, territoriales, économiques et environnementales. C'est d'ailleurs ce qui peut ressortir des études des chercheur·es qui s'intéressent aux déchets, ces derniers ne sont pas réduits qu'à un concept ou à une catégorie juridique. Les déchets sont certes considérés comme une matière tangible, dotée de propriétés physiques, mais aussi et surtout analysés comme porteurs de significations culturelles et sociales, car « raconter l'histoire du déchet, c'est avant tout raconter la façon dont des groupes humains organisent leur relation à ce qui reste, c'est-à-dire aux résidus de leur activité, qu'elle soit productive ou plus simplement biologique » (Monsaingeon, 2017). Les spécialistes

des déchets sont ainsi « confrontés à des états de la matière et à leurs effets symboliques » (Jeanjean, 2016). Cette approche met en lumière la richesse et la complexité de la notion de déchet, qui ne peut être appréhendée sous un seul angle.

La rudologie du latin rudus (décombres) est la science systémique des déchets (territoriale, sociale, politique et technique), son objectif est d'étudier ce que l'objet déchet révèle des sociétés (Gouhier, 2000) : « initiant son approche par l'étude des déchets, la rudologie a donc glissé, dès sa fondation, vers l'ensemble de l'étude des marges sociales et territoriales, croisant alors de nombreux travaux sur les inégalités ou les vulnérabilités » (Durand, 2024). Ainsi, elle est un champ de recherche interdisciplinaire¹⁷ sur un objet d'étude donné, qui n'a pas spécifiquement d'entrée disciplinaire, mais emprunte (Bertoloni, 2011) et se développe grâce à différentes approches disciplinaires, surtout issues des SHS. Jean Gouhier, géographe chercheur à l'Université du Mans, fonde la rudologie en 1985 (Le Dorlot, 2004). Bien que ce pionnier ait d'abord été peu reconnu au sein de sa discipline, la géographie sociale, et que ses travaux aient longtemps été marginalisés ou peu légitimés (Le Dorlot, 2004), la rudologie perdure et se développe aujourd'hui. Plusieurs chercheur·es s'en réclament désormais, se définissant comme « rudologues » ou « chercheur·es en rudologie » (Dillenseger, 2024). La rudologie fait partie du parcours disciplinaire initial de la doctorante, formée d'abord en Géographie et Aménagement du territoire, puis en gestion des déchets à l'Université du Mans. Ce qui n'a pas empêché à la recherche doctorale menée, de se trouver à l'interstice de la Géographie sociale/ Rudologie et de la Chimie de l'environnement (cf. chapitre 3). Car, s'il existe une histoire propre à chaque science (Bensaude-Vincent & Stengers, 1993), on peut également envisager une histoire à la croisée de plusieurs disciplines. En l'occurrence, ici, c'est la matière et plus précisément la matière plastique qui constitue le point de convergence entre la chimie et la rudologie. Bien que leurs approches diffèrent, ces deux domaines observent, étudient et analysent cette matière, chacun selon ses propres méthodes.

Cette recherche entend nourrir les échanges interdisciplinaires sur la question des circulations des plastiques, de leur production à leur fin d'usage.

Une approche métabolique pour étudier les dynamiques des flux plastiques français

Un cadre analytique

« Si les plastiques circulent abondamment sur notre planète, nous ne voyons souvent qu'un moment très court de ces circulations, circonscrit à des espaces précis, typiquement du panier de course à la poubelle » (Manglou, 2024). Afin de rendre visibles les circulations invisibilisées des plastiques, en amont de la consommation (*du panier de course*), soit depuis la production, et en aval (après *la poubelle*), vers les différentes voies de traitement, cette thèse se donne pour objectif principal d'analyser les circulations des flux plastiques français dans leur globalité. Elle vise ainsi à mieux comprendre l'ensemble de leur parcours, de leur identification, quantification et qualification jusqu'à

¹⁷ En témoigne notamment les trois éditions (2022, 2024 et 2025) des Doctoriales en rudologie où des jeunes chercheur·es de disciplines variés (géographie sociale, économie, architecture, urbanisme et aménagement, sociologie, psychologie, histoire, etc.) ont communiqué·es sur leur objet d'étude « déchet ».

Introduction générale

leur régulation dans une perspective de circularité. À ce titre, elle s'inscrit pleinement dans le champ des études métaboliques territoriales.

L'approche du « métabolisme territorial » émerge dans la communauté scientifique à la croisée de plusieurs disciplines, comme la géographie, l'écologie, l'économie et la planification urbaine, tout cela dans le contexte de la prise de conscience croissante des enjeux environnementaux liés à l'urbanisation et à la gestion des territoires (Fischer-Kowalski, 1998). Selon Sabine Barles, urbaniste, historienne et ingénieure française à l'origine du concept d'écologie territoriale, le métabolisme territorial « désigne l'ensemble des flux d'énergie et de matières mis en jeu par le fonctionnement d'un territoire donné » (Barles, 2017). Le concept de métabolisme est mobilisé par des chercheurs issus de disciplines variées, chacune apportant sa propre perspective théorique et méthodologique à l'étude des flux (Rapoport, 2011). Cette pluralité d'approches a donné naissance à plusieurs écoles de pensée, dites « d'écologies scientifiques » (Bahers, 2021). L'étude présentée ici s'inscrit plus spécifiquement dans deux de ces courants : l'écologie territoriale (ET) et la *political industrial ecology* (PIE). Ces deux approches partagent une même volonté d'appréhender les flux de manière systémique, à travers une méthodologie mixte articulant quantification et qualification. L'écologie territoriale, en particulier, propose une lecture matérielle et systémique des interactions entre les sociétés humaines et les écosystèmes. Elle offre un cadre d'analyse qui dépasse les seules dynamiques urbaines pour intégrer des échelles territoriales plus larges (Barles, 2014 ; Buclet & Donsimoni, 2020). Cette approche permet notamment de formaliser les fonctionnements des groupes d'acteurs territoriaux, d'identifier les ressources locales et de comprendre leur valorisation. Elle repose sur une analyse précise des flux circulants, en distinguant consommations directes, flux cachés, opportunités de valorisation et gisements d'économie.

Dans ce cadre, notre premier objectif de recherche est de quantifier les flux plastiques à l'échelle de la France. Il s'agit de réaliser un bilan matières national, permettant d'établir un état des lieux des circulations et des quantités de plastiques. Cette démarche vise à interroger la réalité des dynamiques de circularité proclamées, et à rendre visibles des flux souvent invisibilisés (matériels et immatériels), notamment dans les interstices des filières industrielles plastiques françaises. Trois aspects essentiels justifient la réalisation d'un bilan matières détaillé des plastiques dans le contexte français. Premièrement, il est crucial de mieux connaître les flux plastiques dans leurs géographies, en raison des multiples circulations qu'ils empruntent. Les plastiques ne suivent pas un parcours linéaire, mais circulent à travers différentes filières et échelles géographiques. Ces circulations complexes rendent indispensable une analyse géographique fine pour comprendre où, comment, et pourquoi les plastiques se déplacent, s'accumulent ou finissent par s'échapper vers l'environnement. Deuxièmement, comptabiliser les flux plastiques est fondamental pour obtenir une image précise de leur impact. Les plastiques proviennent de multiples industries, ont des durées et des gestions en fin de vie différente, ce qui génère une multitude de données fragmentées et parfois contradictoires selon les sources, donc une comptabilisation rigoureuse permet d'éclaircir les trajectoires réelles des plastiques. Enfin, il est essentiel de comprendre la gouvernance des flux plastiques, car celle-ci implique une pluralité d'acteurs, chacun jouant un rôle spécifique dans la chaîne de production, de consommation et de gestion des déchets plastiques. Cette gouvernance multi-acteurs inclut les producteurs de résines, les metteurs sur le marché, les collectivités locales, les ONG, les consommateurs, les gestionnaires de déchets et les pouvoirs publics. Une meilleure compréhension des interactions et des responsabilités de chacun est indispensable pour comprendre les dynamiques qui sous-tendent les flux.

Le deuxième objectif (complémentaire du premier) de l'étude est d'analyser les rapports de pouvoirs entre les acteurs de la chaîne de valeur des plastiques en France, dans un contexte de pression réglementaire croissante en faveur de la circularité. C'est ici que la *political industrial ecology* (PIE) prend tout son sens. Cette approche vise à articuler des analyses quantitatives des flux à une lecture critique des dynamiques politico-économiques et spatiales qui les sous-tendent (Cousins & Newell, 2015). Cette approche permet ainsi d'aller au-delà de la simple métaphore du métabolisme pour interroger les transformations matérielles effectives à l'œuvre dans les écosystèmes industriels, ainsi que leurs logiques et localisations (Newell, Cousins, Baka, 2017). Cette réalisation du métabolisme des plastiques en France s'inscrit dans une logique similaire à toute autre étude de métabolisme, où l'enjeu dépasse la simple recherche scientifique (Valleix, 2021) pour devenir un levier stratégique essentiel permettant aux pouvoirs publics d'adopter une gestion plus éclairée des matériaux. Cela est d'autant plus pertinent dans le contexte actuel, où les plastiques suscitent de vives préoccupations tant sur le plan politique qu'économique. Ainsi, l'étude des flux plastiques revêt une importance croissante,¹⁸ car elle permet non seulement de réaliser un état des lieux des quantités mis en jeu dans le système sociotechnique donné (Akrich, 2006), de rendre compte de la mise en œuvre d'une économie circulaire (Desvaux, 2017), mais aussi de mieux appréhender les dynamiques complexes des flux plastiques dans le but de renforcer la prise de décision en matière de politique environnementale recherchée¹⁹. Dans ce cadre-ci, nous analyserons le système sociotechnique des plastiques comme un système complexe et en transformation.

En somme, cette recherche entend produire une lecture située et systémique du métabolisme plastique en France, en croisant des approches matérielles et critiques, pour nourrir les débats actuels sur la transition vers une économie plus circulaire de ces flux et des pratiques des acteurs.

Une méthodologie mixte

La méthodologie de cette thèse s'est déroulée en deux étapes : d'abord une phase quantitative, consistant en l'identification et l'analyse des flux de matières, avec un regard fin en fonction des types de polymères ; puis une phase qualitative, reposant sur des entretiens, afin d'aboutir à une analyse des dynamiques des jeux d'acteurs et de pouvoirs, ainsi que des représentations de ce que doit être la circularité du plastique.

En premier lieu, c'est fait la réalisation de la collecte depuis des sources scientifiques et techniques concernant les polymères synthétiques et leur cycle de vie, afin de connaître finement les différents types de polymères plastiques mobilisés. Des rapports publics, des études techniques et des travaux de recherches, nous ont permis d'identifier leurs définitions, leurs propriétés physico-chimiques et les secteurs d'activités dans lesquels ils sont employés. Le soutien des membres de l'IMMM (Institut des Molécules et Matériaux du Mans), à travers des cours, des webinaires et des conférences, a également enrichi la compréhension de cet objet d'étude.

¹⁸ Importance soulignée par les acteur·es interrogés lors des entretiens de thèse, 2022-2023-2024.

¹⁹ Entretien avec une chargée de mission au sein de la Direction Générale des Entreprises, Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique, juin 2024.

Introduction générale

Ce premier travail réalisé, nous avons pu nous atteler à la méthodologie spécifique du métabolisme :

Méthodologie quantitative

Plusieurs méthodes d'analyse du métabolisme existent et sont complémentaires (Buclet et *al.*, 2015). Dans notre cas, la quantification des flux plastiques réalisée se base sur l'approche de l'écologie territoriale. Elle se concentre sur la comptabilisation des circulations de flux de matières plastiques, depuis les étapes de la production de résines vierges, puis de commercialisation des produits plastiques finis, jusqu'aux différentes voies de traitement et de valorisation des déchets, et passant par la collecte, le tri, le recyclage et la réincorporation des matières plastiques recyclées. Ce suivi matériel de la filière plastique a impliqué trois étapes pour la collecte des données quantitatives :

La première étape a consisté à recenser les données quantitatives publiques relatives aux flux plastiques. Nous observons assez rapidement que les informations disponibles sont éparées, se trouvant dans des rapports publics techniques. Des organismes divers compilent ces données, allant des syndicats professionnels, des Organisations Non Gouvernementales (ONG), des éco-organismes, jusqu'aux structures publiques au niveau national et les bases de données statistiques européennes et internationales. Nous mobilisons donc l'ensemble de ces données en les compilant autant que possible, tenant compte des différences dans les méthodes de calcul, les dates, le périmètre des matières traitées et les sources. Nous observons assez rapidement que les informations disponibles sur les plastiques, en plus d'être éparées, sont parfois anciennes, incomplètes et disparates (particulièrement les données concernant les fuites de plastiques vers l'environnement et les importations et exportations). Une difficulté majeure réside également dans le périmètre des données traitées qui n'est pas toujours le même, certaines incluent l'ensemble des voies de traitement des déchets plastiques, d'autres se limitent à la seule filière du recyclage, tandis que certaines se focalisent uniquement sur un type de produit ou de déchet, comme les emballages. Leur sélection a donc été une étape particulièrement longue et exigeante, nécessitant parfois des estimations ou des suppositions (qui seront mentionnées dans le détail au chapitre 4) dans les chiffres, afin que les totaux des schémas métaboliques soient systématiquement les bons.

Ensuite, nous avons déterminé l'échelle territoriale d'étude. Elle a été induite par les données quantitatives disponibles. Si en France, les données sur les matières sont particulièrement accessibles au niveau départemental (Buclet, et *al.*, 2015), pour les flux plastiques, c'est au niveau national qu'elles sont le plus solidement exploitables. Ceci rend ainsi difficile (voire impossible) une analyse précise à des échelles plus locales, tel que le niveau départemental ou régional, où les informations sont moins disponibles et plus hétérogènes. Cependant, cela pourrait évoluer dans quelques années, puisque certaines régions et observatoires de ressources et déchets régionaux ont entrepris des études sur les plastiques à leur niveau²⁰ (Plan plastique en région Pays de la Loire, Normandie, Île-de-France, Occitanie et Nouvelle-Aquitaine, ainsi qu'un recensement des entreprises régionales de la filière plastique en région Pays de la Loire et en Normandie, cartographie des matières plastiques en région Pays de la Loire, etc.). L'échelle nationale fait ici référence au territoire français métropolitain, car les données sur les territoires d'Outre-mer sont elles aussi peu disponibles et mériteraient des études chaque fois spécifiques et localisées. Ainsi, cette échelle nous a donc semblé être la plus adaptée pour comprendre ces flux, qui, par ailleurs, connaissent des circulations largement nationales et même internationales, du fait de l'interconnexion des chaînes de production, d'importation, d'exportation et de gestion des déchets. Les plastiques circulent à travers

20 Entretien thèse, Chargée de mission déchets, Observatoire TEO de la gestion des déchets en Pays de la Loire, juillet 2022.

des réseaux complexes, impliquant de nombreux acteurs et une diversité de territoires, tant au niveau de la production que de la gestion finale des déchets. L'échelle nationale semble donc particulièrement adaptée à la réalité des flux de plastiques.

Afin d'analyser les processus sociotechniques liés aux plastiques, il a été essentiel de s'interroger sur ce que recouvre précisément le système sociotechnique des plastiques. Une première question émerge : quelles dimensions ce système prend-il en compte ? Dans leur phase de production, les plastiques se distinguent selon les grandes familles : thermoplastiques, thermodurcissables, ou encore plastiques recyclés. Puis, au cours de leur cycle de vie (usage, stockage, gestion des déchets), ils entrent dans la composition de multiples produits : emballages, véhicules, équipements électriques et électroniques, matériaux de construction, etc. Cela donne lieu à une pluralité de filières industrielles.

En France, c'est à travers les travaux d'économie industrielle des années 1970 que la notion de filière a été théorisée (Toledano, 1978). Pour ces économistes, la filière est définie comme un « ensemble d'activités liées dans un processus de production-transformation-distribution d'un bien ou d'un service » (Bencharif & Rastoin, 2007). J. Monfort (1983) précise que ce concept renvoie à l'idée qu'un produit (bien ou service) parvient à son utilisateur final à travers une succession d'opérations, réalisées par des unités aux activités diverses.

Dans le cas des plastiques, cette définition permet de considérer les différentes étapes de leur cycle de vie, de la production à la consommation, puis au traitement des déchets, comme une chaîne d'activités interconnectées. On peut ainsi parler d'une filière plastique, intégrant les segments en amont (extraction, fabrication), intermédiaire (transformation, usage, stockage) et en aval (collecte, recyclage, incinération et stockage). Comme le souligne Carimentrand (2012), ce schéma s'applique à tout type de produit, qu'il soit agricole, artisanal, industriel, touristique, ou informatique. On peut donc pleinement l'appliquer aux plastiques.

Enfin, la dernière étape a consisté à appliquer la méthode *Material flow analysis* (MFA) pour la réalisation des bilans matières. Les données recueillies et sélectionnées ont permis de progressivement réaliser et consolider les bilans matières. Pour ce faire, nous avons, utilisé la méthode MFA, qui, « reste la plus utilisée et la plus robuste » (Bahers & Giacchè, 2018) pour mesurer la matérialité des territoires. Cet outil a pour objectif d'identifier les flux entrants et sortants d'un système afin de mesurer leurs impacts sur l'environnement (Barles, 2009, 2014 ; Ayres & Ayres, 2002).

Méthodologie qualitative

Afin de compléter l'analyse des flux matériels et d'explorer plus en profondeur les dynamiques en jeu, une analyse des jeux d'acteurs a été menée. La démarche adoptée suit la double approche de l'écologie territoriale : « elle consiste à analyser le territoire d'étude à travers son métabolisme, ses jeux d'acteurs, de façon non seulement à mieux le caractériser, mais aussi à identifier des pistes de transformation prenant en compte ces enjeux » (Buclet et al., 2015). Parallèlement, l'approche de la *Political Industrial Ecology* enrichit cette analyse en regardant les caractéristiques socio-économiques des flux : « cela implique de lier explicitement le pouvoir politique et économique aux impacts écologiques et humains. Cela nécessite nécessairement une discussion sur les structures réglementaires, les différents acteurs et les choix politiques possibles » (Pincetl & Newell, 2017)²¹.

21 Traduit de l'anglais : « This entails explicitly linking political and economic power to ecological and human impacts. It necessarily requires a discussion of regulatory structures, different actors and possible policy choices. » P. 2.

Introduction générale

L'objectif étant de mieux comprendre la manière dont le système d'acteurs est structuré et interagit, en prenant en compte les enjeux qui en découlent.

Ce travail a nécessité une étape préalable d'identification précise des parties prenantes et des structures impliquées dans la filière. Par la suite, des prises de contact ont été effectuées, pour la réalisation d'entretiens permettant d'engager un dialogue direct avec les acteurs clés, afin de mieux saisir leurs logiques d'action et leurs stratégies sur les matières plastiques.

Les acteurs sont impliqués à divers niveaux du cycle de vie des plastiques, jouant un rôle déterminant dans la gestion et la transformation des matières plastiques. Il est donc essentiel de les rencontrer afin de mieux comprendre leurs logiques, leurs intérêts et leurs contraintes, et ainsi appréhender l'organisation spécifique de cette filière. Dans ce cadre, nous avons mené trente-cinq entretiens semi-directifs, pour la plupart sur le lieu de travail de la personne interrogée (*cf.* grille d'entretien, annexe 1). En complément des entretiens, une dizaine d'observations de terrain (*cf.* annexe 2) ont été réalisées lors de journées de conférences destinées aux professionnels, ainsi que lors de visites de centres de tri et de lignes de recyclage. Ces observations ont permis d'identifier des personnes clés, d'obtenir certains entretiens et de recueillir des discours issus des réseaux professionnels. Si ces entretiens et échanges de terrain peuvent apparaître comme relativement limités en quantité, ils ont en réalité été réalisés avec des spécialistes assez peu nombreux en France et ciblés de façon très précise, d'où leur nombre.

Cette approche méthodologique nous a permis d'identifier et d'analyser cinq sous-systèmes d'acteurs clés :

- Les fabricants de plastiques (les extracteurs de pétrole, les raffineurs, les pétrochimistes et les plasturgistes) sont des acteurs clés qui déterminent les types et la composition des plastiques mis sur le marché. Par leurs choix de production, ils influencent la diversité des produits disponibles, ce qui a un impact directement sur la suite de la chaîne.
- Les consommateurs et commerçants de plastiques, qu'il s'agisse d'entreprises mettant les produits sur le marché, d'autres les commercialisant ou des consommateurs finaux, sont des acteurs tout aussi déterminants. En faisant des choix de consommation favorisant certains produits plastiques, ils influencent la production et la demande de plastiques, incitant ainsi les fabricants à ajuster leurs pratiques.
- Les éco-organismes, en charge du financement de la gestion des déchets plastiques, jouent un rôle essentiel dans la promotion du recyclage et la coordination des acteurs tout au long de la chaîne de gestion des déchets. Leur objectif principal est de renforcer les capacités de recyclage et de réduire la quantité de déchets plastiques non valorisés. Cependant, ils sont souvent critiqués pour ne pas imposer suffisamment de contraintes aux fabricants, ou pour ne pas atteindre les taux de recyclage escomptés.
- Les gestionnaires de déchets interviennent en fin de vie des produits plastiques. Ils sont responsables de la collecte, du tri et du traitement des déchets, jouant ainsi un rôle stratégique dans la gestion des déchets plastiques.
- Les pouvoirs publics ont pour mission de définir les réglementations qui encadrent l'ensemble de ces activités. Enfin, d'autres structures publiques, telles que l'Ademe, les CCI, les régions, les observatoires régionaux des déchets ou encore les collectivités territoriales, en promouvant notamment une économie circulaire des plastiques, influencent les pratiques des fabricants, des consommateurs et des gestionnaires de déchets.

Questionnements de recherche : circulations des flux plastiques et rapports de pouvoir

Au vu du contexte précité, nous assistons aux prémices d'une transition pour les matières plastiques, qui passent du statut de matière polluante, dangereuse et difficilement recyclable à celui de ressource : « [les déchets] oscillent en permanence, selon le cadre socioéconomique dans lequel ils évoluent, entre la condition de rebus (dangereux, dénigrés, représentant un coût et une charge pour la société) et celle de ressource (représentant des opportunités environnementales, économiques et vecteur d'une nouvelle économie qui serait « circulaire »). » (Durand, 2024). L'objectif politico-économique de circularité des flux plastiques exige des ajustements techniques, logistiques et relationnels, qui redéfinissent les trajectoires matérielles des plastiques tout en réorganisant les dynamiques entre acteurs. Si cette dynamique ouvre des potentialités de transformation, elle s'accompagne également de résistances, ancrées dans les structures sociotechniques des filières plastiques. Dans ce contexte, les flux matériels des plastiques et les relations entre les acteurs de ces filières deviennent des objets d'étude centraux. Quels changements concrets ces nouvelles ambitions de circularité induisent-elles ? Quels sont leurs impacts sur les circulations matérielles et les dynamiques entre acteurs ?

S'il y a donc bien un contexte émergent à la circularité des flux plastiques en France, leurs trajectoires, tout comme les nouvelles dynamiques entre acteurs, restent encore à identifier, comptabiliser et analyser. Ces enjeux nous amènent à formuler la problématique **de savoir dans quelle mesure les nouvelles perspectives de circularités des matières plastiques influencent-elles les trajectoires de ces flux et reconfigurent-elles les relations entre acteurs, tout en générant des potentialités de transformations et de résistances au sein du système sociotechnique des plastiques ?**

Pour répondre à cette question, nous adopterons le cadre méthodologique et analytique du métabolisme territorial. L'objectif est de mieux comprendre les flux plastiques dans leurs géographies, de les quantifier, et d'en analyser la gouvernance. Au carrefour de cette approche, nous considérons les plastiques comme des matériaux complexes à la fois politiques, industriels et sociaux, afin d'éclairer la transformation en cours des dynamiques des filières plastiques françaises. Cela implique une analyse approfondie de trois hypothèses principales : considérer (1) les circulations et la quantification des flux plastiques comme révélatrices d'une fin de vie à dominante linéaire mise en lumière par (2) une approche contraire des nouvelles réglementations à représenter le recyclage comme l'emblème de la circularité (3) redistribuant les rapports de forces des acteurs de la chaîne de valeur des plastiques.

Dans un premier temps, nous faisons l'hypothèse que les circulations des plastiques sur le territoire français sont caractérisées par une résistance à la transition vers un modèle circulaire, en raison de la complexité matérielle des plastiques et des dynamiques industrielles existantes qui favorisent encore un modèle linéaire de gestion de ces flux.

La deuxième hypothèse considère que les nouvelles réglementations et les discours et actions des acteurs, en promouvant le recyclage comme figure emblématique de la circularité, imposent une relecture du devenir des plastiques. Cette approche entre en tension avec les logiques linéaires toujours dominantes et participe à une recomposition des pratiques et des représentations autour de la fin de vie des plastiques, révélant à la fois les ambitions, les contradictions et les limites de la transition vers une économie circulaire.

Enfin, notre troisième hypothèse postule que la réorganisation des flux plastiques en cours contribue à redéfinir les rapports de force au sein de la filière. Ces transformations reconfigurent les positions et les marges de manœuvre des acteurs économiques, techniques et institutionnels, générant à la fois des dynamiques d'innovation, d'adaptation stratégique et des formes de résistance.

Organisation du manuscrit

L'ensemble des éléments théoriques et contextuels introduits ici seront étayés dans **la première partie** de ce manuscrit.

Le premier chapitre présente les matériaux plastiques de manière multidimensionnelle à travers un regard historique, chimique et rudologique afin d'appréhender l'ampleur des enjeux permettant par la suite de comprendre leur circulation. Nous retraçons pour cela la trajectoire socioécologique des plastiques impactées par des transformations techniques, réglementaires et scientifiques, selon un récit chronologique. La première période explore le contexte industriel et sociétal favorable à l'évolution de la production et de la consommation des plastiques, de l'après-guerre à nos jours. Bertolini (1991) qualifie cette époque d'« Homo plasticus », où le plastique devient le matériau emblématique de la société de consommation. Nous définirons notamment les polymères synthétiques et leurs propriétés qui ont conduit à ce succès. Par ailleurs, dès les années 1970, les chercheur·es soulèvent des inquiétudes quant à la pollution plastique et ses effets néfastes (Carpenter & Smith, 1972 ; Blot et al., 2021), amenant à la deuxième période, désignée par « Homo detritus » (Monsaingeon, 2017). Elle marque le début d'une crise environnementale provoquée par une pollution plastique massive, globale et incontrôlable. La fragmentation des plastiques en macro, micro et nanoparticules pose des préoccupations environnementales et sanitaires majeures, suscitant une prise de conscience sociétale.

Le deuxième chapitre présentera la troisième période, celle de l'« Homo circulus »²², qui débute en 2018 lorsque les pouvoirs publics en Europe et en France placent la gestion des plastiques au cœur de leurs objectifs réglementaires, politiques et économiques. L'ambition est alors de rationaliser, recycler et réincorporer les plastiques pour maîtriser cette pollution, en alignant leur fin de vie sur les principes de l'économie circulaire en devenir. Le cadre réglementaire spécifique aux plastiques sera examiné en détail, afin notamment de comprendre les objectifs de prévention, de réduction à la source et de valorisation des déchets. Ce cadre juridique, composé de directives européennes, de lois nationales françaises et de stratégies environnementales, vise à encadrer la production, l'utilisation et, avec une attention particulière, la fin de vie des plastiques, dans l'optique de limiter leur impact sur l'environnement. Il constitue un levier essentiel pour le développement du recyclage, en particulier mécanique, en imposant des obligations de tri, des taux minimaux d'incorporation de matières recyclées, ou encore des interdictions progressives de certains plastiques à usage unique. Enfin, le chapitre se conclura par une analyse des enjeux et des limites du recyclage mécanique, qui, bien qu'efficace pour certaines catégories de matériaux, présente encore de nombreuses contraintes techniques, économiques et environnementales.

²² Le terme Homo circulus est proposé par cette thèse, dans la lignée des deux précédents, « homo plasticus » (Bertolini, 1991) et « homo detritus » (Monsaingeon, 2017). Nous avons choisi de nommer cette période ainsi, au vu du contexte général actuel qui met sur le devant de la scène la nécessité d'aller vers l'économie circulaire des plastiques sans pour le moment poser la question de son effectivité.

Une fois, le contexte des plastiques posé, **le troisième chapitre**, développera un triptyque de notions interreliées dans notre recherche afin d’appréhender de façon aussi holistique que possible la matérialité du plastique : l’interdisciplinarité, la complexité et le métabolisme territorial. Premièrement, l’interdisciplinarité encourage l’intégration des connaissances provenant de diverses disciplines pour traiter des questions complexes. Dans le contexte français des plastiques, l’interdisciplinarité est largement nécessaire, car ils sont devenus une préoccupation majeure tant sur le plan sociétal que scientifique. De nombreux chercheur-es et acteurs de la société civile ont compris que, pour mieux comprendre la nature des plastiques, leur fonctionnement et leur circulation, il est essentiel de coopérer²³. Dans notre cas, combiner les études des sciences des matériaux et des sciences sociales a permis d’aller vers une compréhension plus holistique des flux plastiques et de leurs impacts environnementaux et sociétaux. Deuxièmement, la complexité incite à considérer la nature interconnectée et dynamique des systèmes. Les plastiques, en tant qu’objet d’étude multidimensionnel, à la fois matériel (compositions chimiques, flux, pollution) et social (acteurs, pouvoirs), représentent un système complexe. Comprendre cette complexité est crucial pour développer par la suite une analyse de leurs circulations et des jeux de pouvoir entre acteurs qui en découlent. Enfin, le métabolisme territorial met l’accent sur les processus de transformation et d’échange, soulignant les flux de matière et d’énergie. En appliquant cet outil aux matières plastiques, il devient possible de cartographier et d’analyser la circulation des plastiques au sein du territoire français, de leur production à leur consommation, jusqu’à leur élimination ou leur recyclage. Cette approche permet de présenter le cadre analytique et méthodologique de notre d’étude.

La deuxième partie, s’emploiera à présenter la méthodologie quantitative employée pour réaliser les bilans matières plastiques français ainsi que les analyses qui en ressortent. **Le quatrième chapitre**, consacré aux données quantitatives existantes sur les flux plastiques, viendra dans un premier temps mettre en lumière la nécessité de comptabiliser les flux comme préalable à toute action, publique comme privée, face à l’ampleur des problèmes environnementaux que posent les plastiques. L’expression de ces données permettra de démontrer qu’elles peuvent être utilisées pour projeter une circularité des plastiques qui n’est pour autant pas encore pleinement effective, masquant les lacunes dans leur gestion réelle. Ensuite, ce chapitre présentera la méthodologie employée pour collecter les données quantitatives de flux à l’échelle française, qui s’appuie sur des bases de données publiques, des rapports industriels et des sources institutionnelles. Nous constaterons que, bien que la comptabilisation des flux soit une étape incontournable, elle révèle également de nombreuses limites inhérentes à la production et la gestion des données, qu’il est essentiel de prendre en compte.

Le cinquième chapitre présentera l’évolution historique quantitative des flux à travers plusieurs analyses de cartographie des matières plastiques à l’échelle nationale, afin d’en examiner les modalités d’usage. Nous avons choisi de rendre à lire une évolution diachronique des flux, dans le but d’apporter une vision à la fois détaillée et mouvante de la situation. Le bilan matières de 2018 constitue un point de référence central, car il repose sur un jeu de données particulièrement complet et consolidé. À partir de ce socle, un zoom spécifique sur la boucle du recyclage des plastiques en 2018, détaillant de façon beaucoup plus fine les types de polymères concernés, permet de mieux comprendre les dynamiques internes de valorisation dans le système, apportant ainsi un niveau de

23 « On se rend compte qu’on ne peut plus travailler seul, on a besoin de travailler un peu plus avec les SHS pour aller vers la circularité (des matières plastiques) », Observation de terrain, webinaire plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche chez IPC, le 10 octobre 2022.

Introduction générale

précision indispensable pour spécifier la circulation différenciée des types de matériaux effectivement recyclés, ainsi que les secteurs économiques qui réincorporent des résines recyclées. En parallèle, l'établissement du bilan des flux en 2022 offre autant que possible une actualisation des résultats et permet de mesurer l'évolution récente, dans un contexte marqué par des politiques publiques renforcées et des changements dans les pratiques industrielles. Enfin, l'analyse diachronique couvrant la période 2006-2022 met en perspective ces constats ponctuels en révélant les tendances de fond sur le long terme. Ces analyses ont été possibles pour ces années précisément, car elles correspondent aux moments où les sources de données sont les plus robustes et les plus détaillées. Elles mettent en lumière les secteurs économiques les plus consommateurs de plastiques, les types de polymères les plus utilisés, ainsi que les principales voies de gestion des déchets plastiques. Ces outils permettent une analyse fine des circulations de matières plastiques.

Cet état des lieux quantitatif constitue une étape indispensable pour identifier les points critiques du cycle de vie des plastiques, notamment en ce qui concerne les fuites vers l'environnement ou les étapes qui méritent une attention particulière pour avancer dans la gestion de ces matières. Ces résultats seront ensuite mis en perspective, dans la partie 3, en les croisant avec les dynamiques organisationnelles (analyse qualitative), permettant de comprendre les jeux de pouvoir qui influencent la gestion des plastiques en France et les contraintes à l'accentuation de leur circularisation.

La troisième partie, consacrée à l'étude des dynamiques d'acteurs, après avoir tracé, quantifié et analysé les circulations des flux plastiques à l'échelle nationale, il s'agit désormais de dépasser l'angle matériel des flux pour s'interroger sur les logiques qui les orientent et les mécanismes décisionnels qui en déterminent la structuration. Cette troisième et dernière partie de la thèse est ainsi consacrée à l'étude des dynamiques de jeu d'acteurs de la filière plastique. Plus précisément, nous nous intéressons aux rôles et aux positionnements des différents acteurs impliqués, ainsi qu'aux discours qu'ils et elles mobilisent autour de la circularité des plastiques. Cette analyse s'attache à saisir la manière dont, au niveau institutionnel et économique, se construisent les arbitrages et orientations qui façonnent la trajectoire de la filière.

Le sixième chapitre, en continuité avec la structuration de la deuxième partie, ouvre cette troisième section en s'attachant à expliciter l'approche méthodologique adoptée. Il est ainsi consacré à la présentation des outils qualitatifs mobilisés, en particulier les entretiens semi-directifs et les observations de terrain, qui constituent le cœur de notre démarche d'enquête qualitative. Ce chapitre propose également une présentation détaillée des interlocuteurs rencontrés, de leurs profils et de leurs ancrages institutionnels, économiques ou techniques, de manière à situer les matériaux recueillis dans leur contexte et à expliciter la portée des résultats qui en découlent. Enfin, les thématiques structurantes de la grille d'entretien utilisée seront développées, de manière à rendre compte des principaux axes de questionnement qui ont guidé la conduite des entretiens et orienté la production des matériaux empiriques.

Le septième chapitre sera consacré à l'analyse approfondie des acteurs qui composent la chaîne de valeur des plastiques. Il s'agira d'examiner non seulement leurs rôles et leurs positionnements respectifs au sein de cette chaîne, mais également la manière dont ils et elles envisagent la circularité des flux plastiques. Cette exploration permettra de mettre en lumière les représentations, stratégies et priorités parfois convergentes, parfois divergentes, qui orientent leurs actions. L'analyse s'attachera également à décrypter les dynamiques relationnelles et les rapports de pouvoir qui se déploient entre ces acteurs,

en considérant les alliances, tensions et négociations qui structurent les jeux d'acteurs dans la filière. À travers cette approche, il s'agira de saisir comment les trajectoires possibles de la circularité se construisent et se confrontent au sein de l'espace de la chaîne de valeur.

Enfin, **le huitième chapitre** viendra clore cette troisième partie. Il s'agit à la fois d'un chapitre d'analyse - portant sur les jeux d'acteurs, le rôle du cadre réglementaire dans leur passage à l'action et leur vision de la circularité des flux plastiques - et d'un chapitre d'ouverture, moins centré sur le recyclage, mais orienté vers le réemploi des plastiques et la mise en place de boucles de circularité à l'échelle locale.

Partie 1

La matérialité plastique

Cette première partie du manuscrit expose l'objet de recherche - les plastiques - ainsi que le cadre théorique mobilisé, en vue d'analyser leur matérialité. Les plastiques, à l'origine perçus comme des matériaux modernes, symboles de progrès, d'abondance et d'hygiène, suscitent aujourd'hui une interrogation croissante en raison de leur omniprésence et de leurs conséquences écologiques et sanitaires. Ils débordent : production massive, usages multiples, déchets peu valorisables, pollution des milieux naturels, atteintes à la santé... Leur cycle de vie de la production à la fin d'usage soulève de nombreuses problématiques.

Aujourd'hui, les plastiques sont des flux qui échappent, tant sur le plan physique que symbolique : ils circulent, se dispersent, se transforment et résistent au contrôle. Cette instabilité appelle une réflexion sur leur matérialité, à travers une lecture de leur nature, leur histoire, leurs usages et leurs impacts. C'est pourquoi, dans les chapitres 1 et 2, nous reviendrons chronologiquement sur l'histoire des plastiques à travers les différentes générations successives.

Le chapitre 1 se structure en deux grandes parties, et a pour objectif de présenter à la fois l'émergence des plastiques et les enjeux environnementaux liés à leur développement. La première retrace l'histoire de l'apparition et de l'évolution des plastiques, en mettant en lumière l'enthousiasme industriel qui a accompagné leur développement. C'est cet engouement, porté par la recherche de nouvelles applications et performances, qui a progressivement conduit à la création de matériaux plastiques de plus en plus complexes, s'éloignant des matières naturelles pour donner lieu à une diversité de flux aux propriétés distinctes. Trois grandes générations de plastiques seront ainsi examinées : les plastiques d'origine naturelle, les plastiques synthétiques et les plastiques dits performants. La seconde partie du chapitre montrera comment ces plastiques, initialement perçus comme une solution miracle, sont progressivement devenus un problème global, à mesure que s'est imposée une logique du jetable et une industrialisation massive de polymères aux propriétés multiples, conçus sans anticipation de leur fin d'usage, générant ainsi des déchets importants et persistants.

Le chapitre 2, interrogera les solutions technicistes mises en place pour remédier à cette crise, en particulier, les nouvelles réglementations et le développement du recyclage. Il s'agira de comprendre les limites de ces approches et de montrer pourquoi le recyclage seul ne peut suffire.

Enfin, dans le chapitre 3, nous défendrons l'idée que les plastiques sont un objet trop complexe pour être saisi par une seule discipline. Ce chapitre justifiera le recours à une approche interdisciplinaire. Nous y présenterons également notre cadre analytique et méthodologique, centrée sur le concept de métabolisme territorial, qui permet de suivre, comprendre et analyser les circulations des flux plastiques.

Chapitre 1 : De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

L'objectif de ce premier chapitre est de présenter l'émergence des plastiques et d'exposer les enjeux environnementaux liés à leur développement. Cette évolution ne peut être comprise qu'en revenant sur l'histoire de leur invention et de leur diffusion.

Nous verrons qu'au départ, les plastiques apparaissent comme une véritable innovation. Les nombreuses découvertes de polymères synthétiques, puis les productions industrielles de matières plastiques ouvrent de nouvelles perspectives économiques et technologiques. Leur essor est intimement lié à la percée de l'extraction pétrolière au XIX^e siècle (Fischer-Kowalski, 2011), qui fournit une ressource abondante et peu coûteuse. Insérés dans de nombreux secteurs industriels, les plastiques transforment durablement les modes de production et de consommation, au point de marquer l'avènement de ce que certains auteurs nomment « l'ère plastique » (*cf.* encadré 1).

Cependant, cette diffusion massive ne tarde pas à révéler son revers. À mesure que leur mise sur le marché s'accélère, les impacts environnementaux et sanitaires se multiplient. La persistance des plastiques dans les écosystèmes, leur dispersion à l'échelle mondiale et les risques liés aux additifs chimiques en font désormais une menace planétaire (Arp et al., 2021). Ainsi, la matière jadis perçue comme une solution miracle est devenue l'un des symboles des crises écologiques actuelles.

Encadré 1 : Un florilège d'expression scientifique sur l'« ère plastique » dite « Plasticocène »

Il existe de nombreux termes utilisés pour qualifier la domination sociétale des plastiques et la pollution qu'ils génèrent. En voici quelques-uns : « Plastic age »²⁴ (Yarsley & Couzens, 1945, p. 152), « Homo Plasticus » (Bertolini, 1991), « Plastiglomérate »²⁵ (Corcoran, Moore, Jazvac, 2014), « Plasticrusts »²⁶ (Gestoso et al., 2019), « Poubellocène » (Monsaingeon, 2017), « Plasticsphere »²⁷ (Zettler et al., 2013), « Plasti-cités » (Le Meur, 2019), « Plasticenta » (Ragusa et al., 2021). Ces termes, proposés par la littérature scientifique, possèdent chacun une définition spécifique. Ils expriment tous, à leur façon, la prolifération et la persistance des plastiques au fil du temps et leurs impacts sur l'environnement et la société.

Le terme « plastic age » est apparu pour la première fois en 1945 dans le livre « Plastics » de Yarsley et Couzens (1945), qui marque une étape importante dans l'histoire de la matière plastique. Cet ouvrage, publié dans un contexte où les plastiques étaient encore perçus comme des matériaux innovants et prometteurs, reflète l'enthousiasme de l'époque pour cette révolution industrielle. Les auteurs, Yarsley et Couzens, y présentent les nombreux avantages des plastiques, tant en termes de production que d'applications pratiques. Ils imaginent un avenir dominé par cette matière, qualifiant cette ère de « plastic age », marquant ainsi le début d'une ère où les plastiques joueraient un rôle central dans les industries et la vie quotidienne. Ils écrivent même qu'un monde post « plastic age » serait un monde « plus lumineux et propre »²⁸ (Thompson et al., 2009).

24 Terme en anglais qui se traduit en français par : Âge du plastique

25 Terme en anglais qui se traduit en français par : Plastiglomérat

26 Terme en anglais qui se traduit en français par : Plasticroûte

27 Terme en anglais qui se traduit en français par : Plasticsphère

28 Traduit de l'anglais : « In fact the predictions were "how much brighter and cleaner" a world [it would be] than that which preceded this plastic age » (Yarsley & Couzens 1945, p. 152).

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Gérard Bertolini, dans son ouvrage qui porte le nom d'« Homo Plasticus » (Bertolini, 1991), est beaucoup plus critique, contant le passage de l'*homo ceramicus* à l'*homo plasticus* (Bertolini, 1991, p. 74). Le plastique y est décrit comme la matière symbolique de la société de consommation aux multiples impacts néfastes pour l'environnement.

Le Plasticocène désigne l'ère géologique marquée par l'omniprésence matérielle du plastique, devenu l'un des signes de l'empreinte humaine sur la planète. Comme le souligne Davis (2022), « le plastique est l'un des principaux marqueurs stratigraphiques dans la littérature géologique de l'Anthropocène »²⁹. Seulement, l'ère du « tout plastique » n'est plus scientifiquement défendable, à la lumière des récentes découvertes sur les nanoplastiques : « des chercheurs viennent de montrer que les particules les plus petites se fauillent dans les sédiments de plus en plus profondément, atteignant des zones correspondant à des périodes où le plastique n'avait même pas été inventé ! Ainsi, il envahit notre présent... et remodèle le passé » (Lagarde, Fabre, 2025, p. 16).

Dans ce contexte du Plasticocène, deux formations géologiques emblématiques illustrent cette empreinte plastique sur la Terre : les « plastiglomérats » et les « plasticroûtes ».

La découverte du plastiglomérat remonte à 2013, lorsqu'un trio composé de l'océanographe et activiste Charles Moore, de la géologue Patricia Corcoran et de l'artiste Kelly Jazvac s'est rendu à Kamilo Beach, à Hawaï. Ils y ont observé une substance ressemblant à de la roche, formée par l'agglomération de plastique fondu avec des matériaux trouvés sur la plage. Intrigués par cette matière composite, ils lui ont donné le nom de « plastiglomérat », une désignation aujourd'hui reconnue par la Geological Society of America (Davis, 2022) : « nous utilisons le terme plastiglomérat pour décrire un matériau induré, multi-composite, rendu dur par l'agglutination de roches et de plastique fondu »³⁰ (Corcoran, Moore, Jazvac, 2014). Ils ont pu observer deux catégories de ce matériau : « le type in situ, dans lequel le plastique adhère aux affleurements rocheux, et le type clastique, dans lequel des combinaisons de basalte, de corail, de coquillages et de débris ligneux locaux sont cimentées avec des grains de sable dans une matrice plastique »³¹ (Corcoran, Moore, Jazvac, 2014).

Les plasticroûtes, elles ont été observées pour la première fois au Portugal, sur l'île de Madère en 2016 par des biologistes Gestoso et *al.*, (2019) et plus récemment par une doctorante géologue, Fernanda Avelar Santos, sur l'île de Trinidad au Brésil (Gewin, 2023). Les plasticroûtes se forment lorsque des fragments de plastique, transportés par les courants marins, s'accumulent dans les zones intertidales (les espaces côtiers situés entre les niveaux des marées). Sous l'effet combiné du rayonnement solaire, de la houle et des températures élevées, ces plastiques fondent partiellement et adhèrent à la surface des roches, créant une croûte solide et persistante.

Le terme suivant de « Plastisphere » (Zettler et *al.*, 2013), rappelle frontalement l'intégration des plastiques dans les processus biologiques, en mettant en lumière les écosystèmes microbiens qui se développent à la surface des déchets plastiques dans les océans et dans les autres environnements aquatiques.

« Plasticenta » (Ragusa et *al.*, 2021) lui évoque littéralement la présence de microplastiques dans le corps humain. Ragusa et *al.* (2021) ont étudié six placentas de femme ayant eu une grossesse physiologique, les résultats sont sans appel : « au total, 12 fragments de microplastiques (de 5 à 10 µm), de forme sphérique ou irrégulière, ont été trouvés dans quatre placentas (5 du côté fœtal, 4 du côté maternel et 3 dans les membranes chorio-amniotiques)³² » et « toutes (les particules

29 Traduit de l'anglais : « plastic is one of the main stratigraphic markers within the geological literature of the Anthropocene. ».

30 Traduit de l'anglais : « We use the term plastiglomerate to describe an indurated, multi-composite material made hard by agglutination of rock and molten plastic. ».

31 Traduit de l'anglais : « This material is subdivided into an in situ type, in which plastic is adhered to rock outcrops, and a clastic type, in which combinations of basalt, coral, shells, and local woody debris are cemented with grains of sand in a plastic matrix. ».

32 Traduit de l'anglais : « In total, 12 microplastic fragments (ranging from 5 to 10 µm in size), with spheric or irregular shape were found in 4 placentas (5 in the fetal side, 4 in the maternal side and 3 in the chorioamniotic membranes) ».

de plastiques) étaient pigmentées ; trois ont été identifiées comme du polypropylène coloré, un polymère thermoplastique, tandis que, pour les neuf autres, seuls les pigments ont été identifiés. Ces particules étaient toutes utilisées pour des revêtements, peintures, adhésifs, pansements, peintures au doigt, polymères, cosmétiques et produits de soins personnels³³».

Dans *Homo Detritus* (2017), Baptiste Monsaingeon introduit le terme de « Poubelloène », un terme qui désigne l'ère des déchets générés par les sociétés humaines, marquant ainsi l'Anthropocène. Ce néologisme met en lumière l'accumulation massive de déchets, en particulier les plastiques (Zalasiewicz et al. 2016), qui caractérisent cette nouvelle époque géologique, où les traces laissées par l'activité humaine dominent le fonctionnement des écosystèmes. Il explique d'ailleurs dans un entretien mené par C. Bonneau et M. Gouchon pour la revue *Regards croisés sur l'économie* (Bonneau & Gouchon, 2020) que ce terme lui est venu d'« *une blague rapportée par Derek Ager (Ager, 1993) : dans les années 1970, lorsque les archéologues identifièrent la présence de plastique dans les couches géologiques, ils s'amuserent en proposant de nommer « Poubellien Supérieur » la période marquée par les plastiques et « Poubellien Inférieur » la période précédente. Comme en écho, j'ai proposé le « Poubelloène ». Car, si l'on y réfléchit bien, toutes les traces qui sont envisagées pour caractériser cet anthropocène, que ce soit du CO₂, des nucléotides radioactifs ou des plastiques, ce sont des résidus des activités humaines* ». L'auteur continue ses propos en précisant qu'« *homo detritus* » n'est pas une étape évolutionnaire succédant à *Homo sapiens*, mais qu'il s'agit plutôt d'une métaphore pour décrire le comportement d'« *Homo œconomicus consommateur* qu'on a éduqué à bien jeter et à oublier cette face cachée, inacceptable, de la consommation ».

Enfin, les « plasti-cités », terme amené par Mikëla Le Meur (2019) dans sa recherche de thèse, lui ont permis de qualifier les petites et moyennes villes vietnamiennes, spécialisées dans le tri et le recyclage en partie artisanal des emballages essentiellement plastiques, enquêter lors de son terrain d'étude sur la matière plastique. Une expression qui lui vient du concept de *plasticité* (Malabou, 2005). Et, encore plus récemment, le chercheur Etienne Dufour (2024) amène le terme « plasticulture » dans l'une de ses communications scientifiques : « *Aux origines de la "plasticose" des champs : retours sur les premiers développements de la plasticulture en France* » (Dufour, GDR PES, Bordeaux, 2025).

Homo plasticus : du tout fabriquer au tout consommer

Nous nous intéresserons ici à la définition et au développement des matières plastiques au fil du temps, passant des polymères naturels aux polymères synthétiques. Ce passage est important et non sans conséquences environnementales. Il a été permis par le développement de la chimie des polymères. C'est dans ce contexte d'évolution scientifique et technique et de transformation des matériaux que s'inscrit l'expression d'« *Homo Plasticus* » (Bertolini, 1991) reflet d'un basculement culturel et environnemental majeur. Ce terme reflète le passage de l'*homo ceramicus* lié à des matières naturelles compatibles avec les cycles biogéochimiques vers l'*homo plasticus*, où le plastique est présenté comme le symbole d'un progrès technique illusoire, ayant des conséquences écologiques graves.

Première génération : les plastiques d'origine naturelle

Au fil du temps, des générations de plastiques se sont succédé, formant un véritable « arbre généalogique touffu » (Bertolini, 1991). La première génération de plastiques s'est principalement développée à partir de matériaux d'origine végétale ou animale au XIX^e siècle (Rouilly, 2006). Ils étaient le plus souvent

³³ Traduit de l'anglais : « All of them were pigmented; three were identified as stained polypropylene a thermoplastic polymer, while for the other nine it was possible to identify only the pigments, which were all used for man-made coatings, paints, adhesives, plasters, finger paints, polymers and cosmetics and personal care products. ».

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

des dérivés de substances naturelles, comme le caoutchouc, la cellulose ou la caséine. On les qualifie de semi-synthétiques, car ils reposent sur des polymères naturels, transformés chimiquement à l'aide d'additifs divers.

Un des premiers jalons de cette évolution est la découverte de la vulcanisation par Charles Goodyear en 1839. Ce procédé consiste à chauffer le caoutchouc naturel (issu du latex) avec du soufre, le rendant ainsi plus résistant à la chaleur tout en conservant son élasticité à basse température. Le caoutchouc vulcanisé sera massivement utilisé, notamment dans la fabrication des pneus. En parallèle, d'autres matériaux semi-synthétiques apparaissent. En 1862, Alexander Parkes met au point la Parkésine, considérée comme l'un des premiers plastiques artificiels. Présentée à l'Exposition universelle de Londres, elle est fabriquée à partir de cellulose végétale. Bien qu'innovante, la Parkésine ne trouve pas de réel succès commercial. C'est finalement John Wesley Hyatt qui, en 1868, en améliorant les travaux de Parkes, donne naissance au celluloïd, matériau emblématique de cette époque. Le celluloïd est obtenu en dissolvant de la nitrocellulose dans un mélange d'alcool et de camphre, ce qui produit une matière plastique flexible, malléable et bon marché. Utilisé pour les pellicules photographiques, les balles de tennis de table, ou encore les objets de consommation courante, il connaît un grand succès. Toutefois, sa forte inflammabilité limitera progressivement son usage. D'autres plastiques semi-synthétiques suivent. En 1844, le linoléum, à base d'huile de lin oxydée, est mis au point et utilisé principalement pour le revêtement de sols. En 1884, Hilaire de Chardonnet crée le premier fil artificiel à base d'acétate de cellulose, appelé viscose ou « soie artificielle », utilisé pour remplacer le coton ou la laine dans les textiles. En 1889, le chimiste français Jean-Jacques Trillat durcit la caséine (protéine du lait) avec du formol, donnant naissance à une matière appelée « pierre de lait ». Enfin, en 1897, la Galalithe est mise au point par Wilhelm Krische et le chimiste autrichien Adolf Spitteler, à partir de caséine également. Plus dure que la corne, plus brillante que l'os, colorable, et bon marché, elle est largement utilisée pour les manches de couteaux, boutons, stylos, bijoux fantaisie ou boules de billard. Si le celluloïd a longtemps été considéré comme le premier plastique artificiel à grande échelle, la paternité du plastique reste en débat. Des précurseurs, comme Braconnot dès 1833, ou Parkes en 1862, ont aussi joué un rôle fondamental dans l'histoire des matériaux plastiques (Bertolini, 1991). Leur relative absence de reconnaissance tient moins à l'innovation qu'à la diffusion commerciale et à l'impact économique de leurs découvertes.

Première génération : les plastiques semi-synthétiques			
Polymères plastiques	Année de découverte ou de production industrielle	Chimiste(s)	Nom connu du grand public ³⁴
Caoutchouc naturel	1839	Charles Goodyear	Caoutchouc
Nitrate de cellulose	1862	Alexander Parkes	Parkésine
Huile de lin oxydée	1863	Frederick Walton	Linoléum
Nitrate de cellulose	1868	John Wesley Hyatt	Celluloïd
Acétate de cellulose	1884	Hilaire de Chardonnet	Viscose ou « soie artificielle »
Caséine	1889	Jean-Jacques Trillat	« Pierre de lait »
Caséine	1897	Wilhelm Krische et Adolf Spitteler	Galathile

Tableau 1 : La première génération de plastiques : les plastiques semi-synthétiques du XIX^e siècle

³⁴ Provient souvent de la marque ou de l'abréviation du polymère.

Deuxième génération : les plastiques synthétiques

Au cours de la première moitié du XX^e siècle, l'essor de la chimie des polymères a conduit à l'émergence d'une deuxième génération de plastiques, entièrement synthétiques. Cette avancée scientifique a permis la synthèse d'au moins quinze nouvelles classes de polymères, ouvrant la voie à des matériaux aux propriétés inédites (Andrady & Neal, 2009). Le développement de cette industrie est étroitement lié à celui de la chimie pétrochimique.

La formulation des matières plastiques

La production industrielle des plastiques issus du pétrole repose sur une succession d'étapes techniques (cf. figure 1). Le pétrole brut est d'abord distillé pour extraire les fractions légères, dont l'une d'elles est appelée le naphta. Ce naphta subit ensuite un craquage thermique ou catalytique afin de générer des hydrocarbures de faible masse molaire, qui serviront de monomères. Par polymérisation, ces monomères sont transformés en polymères. Les polymères bruts sont ensuite modifiés par l'ajout d'additifs fonctionnels (plastifiants, stabilisants, retardateurs de flamme, charges minérales) pour améliorer leurs performances. Cette étape, appelée compoundage, consiste à homogénéiser le mélange polymère-additifs, généralement sous forme de granulés, ce qui facilite leur transformation ultérieure. Lors de la mise en œuvre, ces granulés sont transformés en produits finis grâce à divers procédés thermomécaniques (extrusion³⁵, injection³⁶, soufflage³⁷, thermoformage³⁸), en fonction des applications visées (emballage, automobile, électronique, bâtiment, etc.). « *Ce sont ces longues molécules qui ont ouvert une voie complètement nouvelle dans le monde des matériaux. Ces opérations de synthèse ne se sont pas faites au hasard. Les bases de la théorie sur laquelle elles se fondent sont posées en 1922 par le chimiste allemand Hermann Staudinger. On sait donc, qu'en fonction de la nature du monomère, de la longueur des chaînes formées et de la structure des polymères (linéaire ou ramifiée), il est possible de moduler les propriétés des matières plastiques, telles que résistance, élongation et transparence entre autres* » (Rouilly, 2006).



Figure 1 : Processus industriel de fabrication du plastique pétrosourcé

La matière plastique est formulée à partir de trois éléments : un polymère qui constitue l'essentiel du matériau, auquel sont mélangés des additifs et des charges. Le polymère est constitué de très longues molécules comportant un squelette carboné où l'élément chimique du carbone joue un rôle déterminant. En effet, les briques de base du polymère, les monomères sont des molécules à base de carbone. La polymérisation consiste ensuite à en attacher de très grands nombres les uns à la suite des autres, créant ainsi de longues chaînes (Duval, 2009) à base de carbone très stables, appelées macromolécules ou polymères (cf. figure 2).

35 « Procédé par lequel du plastique chauffé ou non est forcé à travers une filière pour former une pièce en continu » (NF EN ISO 472, 2013).

36 « Moulage d'une matière par injection sous pression à partir d'un cylindre chauffé à travers une buse dans la cavité d'un moule fermé » (NF EN ISO 472, 2013).

37 « Méthode de formage d'objets creux, par insufflation d'un gaz comprimé dans une paraison maintenue dans un moule » (NF EN ISO 472, 2013).

38 « Procédé de formage de feuilles ou d'autres objets thermoplastiques chauffés, en général sur un moule, suivi d'un refroidissement » (NF EN ISO 472, 2013).

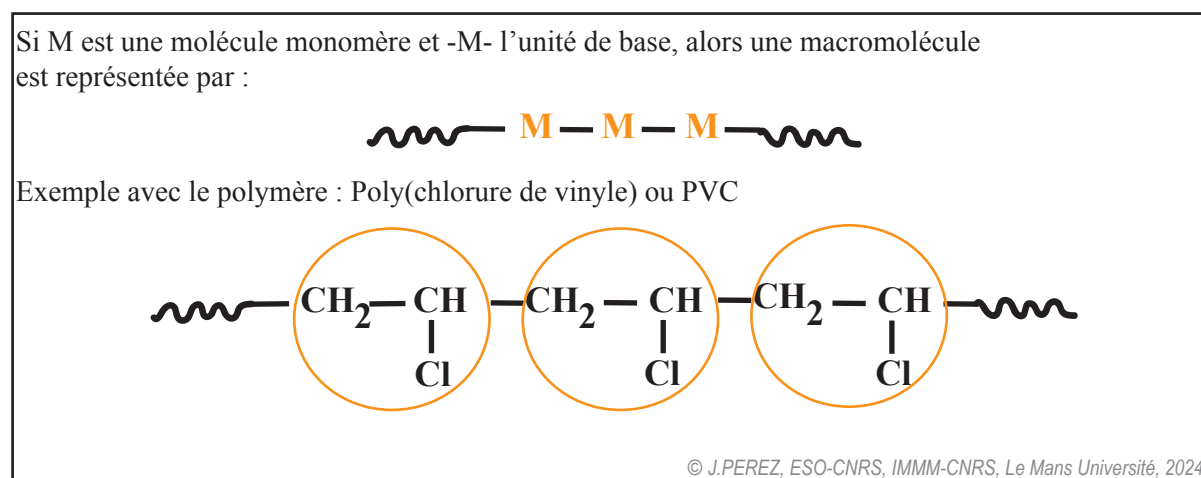


Figure 2 : Représentation d'une macromolécule à partir de monomères : exemple du PVC (Polychlorure de vinyle)

À partir d'une grande diversité de monomères disponibles (et d'additifs permettant de consolider les macromolécules ainsi formées), les chimistes polyméristes peuvent concevoir et fabriquer une multitude de polymères plastiques ayant des propriétés spécifiques. En effet, afin d'améliorer les propriétés des plastiques, des additifs et des charges sont ajoutés (Birley, 1982). Ces substances sont généralement présentes en petites quantités et leur dosage varie selon les applications (Andrady & Neal, 2009). Ce principe d'optimisation des matériaux par des ajouts ciblés remonte à plusieurs siècles : « *en 1755, l'ingénieur et botaniste français François Fresneau publia ce qui est reconnu comme le premier article sur le caoutchouc (soumis à l'Académie royale des sciences), rapportant que le caoutchouc brut possédait de précieuses propriétés d'élasticité, de plasticité, de résistance, de durabilité, de non-conductivité électrique et de résistance à l'eau ; cependant, il durcissait en hiver, se ramollissait et devenait collant en été, il ne résistait pas aux solvants et dégageait une mauvaise odeur. Le caoutchouc naturel, appelé latex en raison de son aspect laiteux, n'a trouvé son application que lorsque Charles Goodyear a découvert que l'ajout de soufre améliorerait considérablement ses propriétés, grâce à un processus appelé la vulcanisation : ce fut le premier exemple de la manière dont les additifs peuvent améliorer considérablement les propriétés des polymères* »³⁹ (Marturano et al., 2017).

Les additifs sont donc des substances incorporées pour produire des plastiques ou modifier ou améliorer certaines propriétés finales des plastiques (NF EN 17615, 2022). Des plastifiants, retardateurs de flamme, stabilisants à la lumière et à la chaleur, lubrifiants, pigments, antioxydants, colorants, etc. (Ugoeze et al., 2021) sont ainsi introduits afin d'améliorer les propriétés des polymères, tels que leur résistance, leur stabilité, leur flexibilité, leur conservation ou encore leur aspect esthétique. Les charges, elles, sont des matières inertes ajoutées pour faciliter la mise en œuvre du matériau ou en améliorer les performances techniques ou encore en réduire le coût (NF EN ISO 472, 2013).

³⁹ Traduit de l'anglais : « In 1755, the French engineer and botanist François Fresneau published what is acknowledged as the first paper about rubber (submitted to the Académie Royale des Sciences) [2], reporting that crude rubber possessed the valuable properties of elasticity, plasticity, strength, durability, electrical non-conductivity and water resistance; however it hardened in winter, softened and became sticky in summer, it was not resistant to solvents and smelled bad. Natural rubber, named latex for its milky appearances, did not find its application until Charles Goodyear discovered that the addition of sulphur dramatically improved its properties, in a process called plastic vulcanization [3]: this was the first example of how additives can dramatically improve polymer properties » (Marturano et al., 2017).

Certaines de ces substances chimiques sont particulièrement préoccupantes. Parmi elles figurent des additifs aujourd'hui classés comme des « substances extrêmement préoccupantes » (SVHC) par l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA), ou encore comme des « polluants organiques persistants » (POP) selon la Convention de Stockholm des Nations Unies. Ces substances posent un double enjeu : elles sont nocives à la fois pour l'environnement et pour la santé humaine (Wagner & Schlummer, 2020). Car, sous l'effet de facteurs extérieurs, tels que la chaleur, la lumière et l'usure naturelle, les plastiques peuvent libérer une partie de ces composés toxiques. Ces substances se dispersent ensuite dans l'environnement, contaminant l'eau, l'air et les sols et peuvent s'accumuler dans les organismes vivants, y compris chez l'être humain, via la chaîne alimentaire.

Développement des plastiques synthétiques

La Bakélite, considérée comme le premier plastique entièrement synthétique, a été inventée par Leo Baekeland en 1907 (Bensaude-Vincent & Strengers, 1993). C'est un polymère thermodurcissable, c'est-à-dire ne pouvant pas être refondu une deuxième fois, fabriqué à partir de phénol et de formaldéhyde. Elle est très prisée pour sa résistance à la chaleur, à l'électricité, et sa durabilité dans le temps, ce qui en a longtemps fait un matériau de choix pour des produits comme les téléphones, les radios et les pièces automobiles. Cependant, au fil du temps, d'autres plastiques plus polyvalents, moins coûteux et plus faciles à produire en masse l'ont petit à petit remplacé.

Le chlorure de polyvinyle (PVC) a été initialement synthétisé par Eugen Baumann en 1872, mais ce n'est qu'à la fin des années 1920 que sa production commerciale a véritablement commencé aux États-Unis. En Europe, la production industrielle à grande échelle a été lancée au cours des deux décennies suivantes. Contrairement à la majorité des plastiques, dont les éléments principaux sont le carbone et l'hydrogène, le PVC se distingue par une composition riche en chlore, qui représente environ 57 % de son poids, en plus de sa teneur en carbone et en hydrogène (Andrady & Neal, 2009). Le PVC est produit sous forme de poudre blanche, mais cette poudre ne peut pas être utilisée directement. Elle est mélangée à divers additifs pour créer des formulations adaptées à une grande diversité d'applications, allant des tuyaux et des revêtements de sol aux emballages et aux matériaux d'isolation. Cette polyvalence est due à la possibilité de modifier ses propriétés physiques et chimiques en fonction des besoins. Le chlore contenu dans le PVC lui confère également une plus grande résistance au feu par rapport à d'autres plastiques courants, tout en contribuant à sa durabilité. L'utilisation d'additifs dans les formulations de PVC, notamment des plastifiants, soulève cependant des préoccupations environnementales et sanitaires (Brydson, 1999), incitant à une grande vigilance dans son usage aujourd'hui.

Le styrène (S), composé de base du polystyrène (PS), a été isolé pour la première fois en 1831, puis en 1845, Blyth et Hofmann chauffent le styrène et obtiennent, un solide qu'ils nomment métastyrène. Les premières études sur les applications pratiques du polystyrène datent du début du XX^e siècle. Kronstein, en 1902, puis Matthews, en 1911, explorent la polymérisation thermique et catalytique du styrène. Matthews montre que le polystyrène ainsi obtenu possède des propriétés intéressantes permettant de remplacer des matériaux comme le cellulose, le verre ou le caoutchouc dur (Feldman, 2008). Cependant, un obstacle majeur freine son développement : la tendance du styrène à polymériser prématurément. Ce problème est surmonté en 1922 lorsque Dufraisse et Moreau introduisent l'usage d'inhibiteurs de polymérisation, permettant un meilleur contrôle du procédé. Enfin, les bases scientifiques de la polymérisation du styrène sont posées par Ostromislenskii entre 1911 et 1925, puis approfondies par Staudinger entre 1929 et 1935. Ces travaux ont été essentiels pour comprendre les mécanismes de

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

formation des polymères, ouvrant la voie à la production industrielle du polystyrène (Feldman, 2008). Il est utilisé pour fabriquer divers produits de consommation, tels que des jouets, des emballages et des ustensiles ménagers. Le polystyrène se distingue par sa légèreté, sa rigidité et sa facilité de moulage. C'est plus tard, en 1954, que la Dow Chemical a inventé le PS expansé (PSE), qui est reconnu pour sa propriété d'isolant, très utilisé dans les secteurs du bâtiment et des emballages.

Le polyéthylène (PE) a été découvert en 1933 par deux chercheurs britanniques, Eric Fawcett et Reginald Gibson, qui travaillaient pour la compagnie ICI (Imperial Chemical Industries). Cette découverte s'est faite de manière accidentelle lors d'une expérience où de l'éthylène gazeux était soumis à une forte pression en présence de benzaldéhyde. L'expérience ne devait pas aboutir à la création d'un nouveau matériau, mais elle a conduit à la production d'une substance blanche cireuse, qui fut ensuite identifiée comme du polyéthylène (Brydson, 1999). Ce n'est qu'en 1935 que Michael Perrin, également chercheur chez ICI, a réussi à le synthétiser pour la première fois sous forme de résine à faible densité (PEBD) (Andrady et Neal, 2009), marquant ainsi la véritable naissance de la production industrielle de polyéthylène. Initialement, ce plastique était utilisé durant la Seconde Guerre mondiale pour isoler les câbles sous-marins et ceux des radars, en raison de ses excellentes propriétés isolantes électriques (Yarsley & Couzens, 1945). Après la guerre, l'usage du polyéthylène s'est largement étendu à d'autres domaines. Son faible coût, sa résistance chimique et sa flexibilité en ont fait l'un des plastiques les plus produits au monde. Il est utilisé dans des applications variées, comme la fabrication des sacs plastiques, des emballages alimentaires, des bouteilles, des tuyaux et même des pièces automobiles. Aujourd'hui, le polyéthylène reste le plastique le plus répandu sur la planète (Plastics Europe, 2022). On le trouve principalement sous deux formes : le polyéthylène basse densité (PEBD ou PELD – par exemple utilisé pour faire des sacs plastiques jetables) et le polyéthylène haute densité (PEHD – par exemple pour les bouteilles de lait), chacun ayant des propriétés spécifiques adaptées à différentes utilisations.

Le polyuréthane a été développé en 1937 par le chimiste allemand Otto Bayer, qui a découvert une nouvelle méthode pour synthétiser ce polymère en utilisant des diisocyanates et des polyols. Initialement utilisé comme alternative au caoutchouc pendant la Seconde Guerre mondiale, le polyuréthane s'est ensuite imposé dans des applications variées, notamment les mousses rigides et souples (pour les matelas, les isolants et les sièges automobiles), les adhésifs, les revêtements et les élastomères (Brydson, 1999).

En 1938, Roy Plunkett, un chimiste travaillant pour DuPont, a découvert accidentellement le polytétrafluoroéthylène (PTFE), connu sous le nom commercial de Téflon. Plunkett tentait de développer un nouveau gaz réfrigérant lorsqu'il observa qu'une bouteille d'un gaz expérimental, le tétrafluoroéthylène, avait polymérisé en une substance blanche et cireuse. Cette découverte marqua le début d'une révolution dans les matériaux résistants à la chaleur et aux produits chimiques. Il est utilisé dans une grande variété d'applications, notamment dans les ustensiles de cuisine (comme revêtement antiadhésif pour les poêles), les joints, les roulements, et les pièces d'équipements industriels exposées à des conditions extrêmes. Sa surface très lisse et son faible coefficient de frottement en font également un matériau recherché dans l'industrie aérospatiale et électronique.

Le Téflon, contient des substances chimiques appelées PFAS (substances per- et polyfluoroalkylées), connues pour leur résistance extrême à la dégradation. Parmi ces substances, l'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et le perfluorooctanesulfonique (PFOS) ont été largement utilisés pour leurs propriétés imperméables, antiadhésives et résistantes aux taches. En novembre 2023, le Centre international de

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

recherche sur le cancer (CIRC) a classé le PFOA comme cancérigène pour l'homme (Groupe 1) et le PFOS comme possiblement cancérigène (Groupe 2B), en raison de preuves scientifiques de leur dangerosité sur la santé (notamment cancers des reins et des testicules, altérations épigénétiques, immunosuppression) (Zahm *et al.*, 2024). Ces substances, surnommées « polluants éternels », ont été massivement utilisées depuis les années 1940 et se retrouvent aujourd'hui partout dans l'environnement, y compris dans l'eau potable. C'est notamment le cas à Rumilly⁴⁰, en Haute-Savoie, où une contamination au PFOA a été révélée en 2022, plusieurs années après l'interdiction de la substance (2020). Jusqu'en 2012, ce composé était utilisé dans la fabrication du PTFE, le polymère constituant le Téflon, notamment commercialisé par Tefal (groupe SEB).

En 1941, les chimistes John Rex Whinfield et James Tennant Dickson, travaillant pour la Calico Printers Association de Manchester, sont reconnus pour avoir découvert le polyéthylène téréphtalate (PET). Par la suite, la licence d'utilisation du PET a été accordée à DuPont pour les États-Unis et à ICI (Imperial Chemical Industries) pour le reste du monde. Les équipes de chimistes chez DuPont et ICI ont alors développé des fibres à partir de PET, marquant le début de son utilisation industrielle. Dans les années 1950, les premières feuilles de polyester ont été produites à partir de PET, ce qui a ouvert la voie à de nombreuses applications, notamment les films plastiques. Ce n'est qu'au début des années 1970 que les premières résines de PET ont été utilisées pour la fabrication de bouteilles (type bouteilles d'eau). Le PET est rapidement devenu le matériau de référence pour les emballages de boissons grâce à son ensemble de propriétés uniques. Il est transparent (permettant une transmission de lumière proche de 100 %), léger, brillant et offre une excellente résistance au dioxyde de carbone, ce qui en fait un choix idéal pour conserver les boissons gazeuses (Andrady & Neal, 2009).

Le Polypropylène (PP) a été créé par Giulio Natta en 1954, et sa production industrielle a débuté en 1957. Il se distingue par sa résistance aux températures élevées, ce qui le rend particulièrement adapté aux produits nécessitant un nettoyage ou une stérilisation fréquente (Maddah, 2016), comme c'est le cas pour certains équipements médicaux ou de laboratoire (bêchers, boîtes de stérilisation, etc.), mais aussi pour des produits pour bébé (biberons) ou des ustensiles de cuisine.

Le tableau 2 dresse une liste non exhaustive des plastiques synthétiques développés à partir des années 1900. Cette période est marquée par de nombreuses découvertes de polymères ainsi que par une industrialisation en pleine expansion. C'est également à cette époque que naissent les plastiques dits « de commodité » (*commodity plastics* en anglais), caractérisés par un volume de production élevée et un faible coût (Feldman, 2008), tels que le polyéthylène (PE), le polypropylène (PP), le polychlorure de vinyle (PVC), le polystyrène (PS) et le polyéthylène téréphtalate (PET). Ils se distinguent des plastiques dits techniques (que nous verrons plus en détail dans la troisième génération, description infra) caractérisés, quant à eux, par un coût plus élevé et une production en faible volume (Feldman, 2008).

40 <https://reporterre.net/Scandale-des-PFAS-35-ans-apres-les-dechets-de-Tefal-contaminent-toujours> consulté en juillet 2025.

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Deuxième génération : les plastiques synthétiques			
Polymères plastiques	Abréviation	Chimiste(s) ou entreprise	Nom connu du grand public
Polychlorure de vinyle	PVC	Eugen Baumann (1872)	
Phénoplaste		Leo Baekeland (1909)	Bakélite
Cellulose régénérée		Jacques E. Brandenberger (1915)	Cellophane
Alkyde		Kienle (1926)	Glyptal
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	Otto Röhm (1927)	Plexiglas
Aminoplaste		Pollak (1928)	Pollopas
Polystyrène	PS	IG Farben (1930)	
Mélamine		BASF (1935)	
Polyamide 6-6	PA66	Roy Plunkett, Rack Rebok (1938)	Nylon
Polyamide 6	PA6	Paul Schlack (1938)	Perlon
Polytétrafluoroéthylène	PTFE	Roy Plunkett (1938)	Téflon
Polyéthylène haute densité	PEHD	ICI UK (1937)	
Polyuréthane	PU	Otto Bayer (1940)	
Silicone		Frederic Kipping (1941)	
Polyéthylène téréphtalate	PET	John Rex Whinfield et James Tennant Dickson (1941)	
Acrylonitrile-Butadiène-styrène	ABS	US Rubber Company (1946)	
Epoxyde	EP	Pierre Castan (1946)	Araldite
Polyamide 11	PA11	Société Organico (1947)	Rislan
Polystyrène expansé	PSE	Fritz Stastny (1951)	Styropor
Polyoxyméthylène ou polyformaldéhyde ou polyacétal	POM	Dupont de Nemours (1953)	Derlin
Polyacrylonitrile	PAN	Bayer (1954)	
Polyéthylène basse densité	PEBD	Karl Ziegler (1955)	
Polypropylène	PP	Guilio Natta (1957)	
Polycarbonate		Hermann Schnell (1957)	Lexan
Ionomère		Dupont de Nemours (1965)	Surlyn

Tableau 2 : La deuxième génération de plastiques : les plastiques synthétiques du XX^e siècle

Le développement des plastiques au cours du XX^e siècle a profondément transformé la société moderne, en particulier à partir de l'après-guerre, lorsque le plastique est devenu le symbole de la société de consommation. Ce matériau synthétique s'est imposé comme une solution idéale pour répondre aux besoins croissants d'une population en plein essor, marquée par une explosion démographique et une

envie de consommer après des années de privations et de restrictions pendant la guerre (Bertolini, 1991). La production de masse et l'industrialisation des plastiques ont rapidement permis de réduire les coûts, favorisant ainsi une adoption massive dans des secteurs variés. L'une des principales forces du plastique réside dans sa capacité à remplacer des matières premières naturelles coûteuses et limitées, telles que l'ivoire, la corne, la soie, tout comme des matières moins rares, telles que le coton, le bois ou le métal. En offrant une alternative synthétique, les plastiques ont permis de sauvegarder des ressources naturelles tout en s'affranchissant de certaines matières premières rares et chères issues du règne animal et végétal – au prix d'une nouvelle dépendance à d'autres matières naturelles : essentiellement les hydrocarbures. Leur production à partir de matières abondantes à l'époque, comme le charbon, le pétrole et le gaz naturel, a assuré une grande liberté d'approvisionnement, tout en entraînant une baisse des prix (Bertolini, 1991). Dans ce contexte, les plastiques ont rapidement acquis la réputation d'être bon marché et accessibles, au point que le terme « plastique bon marché » est devenu un cliché, associant dans l'imaginaire collectif ce matériau à l'économie et à l'accessibilité (Bertolini, 1991). Au-delà de sa praticité et de son faible coût, le plastique est devenu un véritable emblème de la société de consommation et du gaspillage. Il n'a pas seulement accompagné l'essor de cette société moderne, il a accéléré le mouvement, devenant un catalyseur du mode de vie basé sur la production et la consommation de masse (Bertolini, 1991). Les objets en plastique, souvent jetable, ont non seulement permis la diffusion des biens de consommation à grande échelle, mais ont aussi favorisé une culture du « tout disponible » et du « tout jetable », dans laquelle le confort, la facilité d'entretien et l'hygiène prenaient le pas sur la durabilité des matériaux et des objets.

Cette généralisation massive d'objets utilitaires en plastiques de toutes sortes marque une véritable révolution dans les foyers et est parfaitement illustrée par Roland Barthes en 1957 dans *Mythologies*⁴¹, un recueil d'articles de critique sociologique, dont l'un d'eux est consacré au plastique (*cf.* texte complet, encadré 2). Ce texte reflète parfaitement la façon dont le plastique était vu à cette époque, une matière *infinie et miraculeuse* : « *plus qu'une substance, le plastique est l'idée même de sa transformation infinie, il est, comme son nom vulgaire l'indique, l'ubiquité rendue visible ; et c'est d'ailleurs en cela qu'il est une matière miraculeuse : le miracle est toujours une conversion brusque de la nature. Le plastique reste tout imprégné de cet étonnement : il est moins objet que trace d'un mouvement* » (Barthes, 1957). Cette citation met en lumière une vision philosophique du plastique, où il dépasse son statut de simple matériau pour devenir une métaphore de la transformation et de la plasticité infinies. Roland Barthes, à travers cette réflexion, souligne que le plastique n'est pas seulement un objet tangible, mais qu'il incarne une sorte de miracle moderne, capable de se métamorphoser en une infinité de formes. D'ailleurs, le terme « ubiquité » utilisé par l'auteur renvoie directement à la présence omniprésente du plastique dans la vie quotidienne. Dans cette lignée, Barthes ajoute que « *le plastique est tout entier englouti dans son usage : à la limite, on inventera des objets pour le plaisir d'en user. La hiérarchie des substances est abolie, une seule les remplace toutes : le monde entier peut être plastifié, et la vie elle-même, puisque, paraît-il, on commence à fabriquer des aortes en plastique* » (Barthes, 1957).

41 Cette référence a été trouvée dans deux ouvrages : p. 371 : Eastes & Bensaude-Vincent (2020). Chapitre 23. Chimie en société : vers une nouvelle identité. Dans B. Bensaude-Vincent et R. Eastes Philosophie de la chimie (p. 351-372). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.easte.2020.01.0351>. Et dans les pages 35 à 39 de l'ouvrage de Bertolini (1991), *Homo Plasticus*, Sang de la terre.

Encadré 2 : Roland Barthes Mythologies (1957) Le plastique

« Malgré ses noms de berger grec (Polystyrène, Phénoplaste, Polyvinyle, Polyéthylène), le plastique, dont on vient de concentrer les produits dans une exposition, est essentiellement une substance alchimique. À l'entrée du stand, le public fait longuement la queue pour voir s'accomplir l'opération magique par excellence : la conversion de la matière ; une machine idéale, tubulée et oblongue (forme propre à manifester le secret d'un itinéraire) tire sans effort d'un tas de cristaux verdâtres, des vide-poches brillants et cannelés. D'un côté, la matière brute, tellurique, et, de l'autre, l'objet parfait, humain ; et entre ces deux extrêmes, rien ; rien qu'un trajet, à peine surveillé par un employé en casquette, mi-dieu, mi-robot.

Ainsi, plus qu'une substance, le plastique est l'idée même de sa transformation infinie, il est, comme son nom vulgaire l'indique, l'ubiquité rendue visible ; et c'est d'ailleurs en cela qu'il est une matière miraculeuse : le miracle est toujours une conversion brusque de la nature. Le plastique reste tout imprégné de cet étonnement : il est moins objet que trace d'un mouvement.

Et comme ce mouvement est ici à peu près infini, transformant les cristaux originels en une multitude d'objets de plus en plus surprenants, le plastique est en somme un spectacle à déchiffrer : celui-là même de ses aboutissements. Devant chaque forme terminale (valise, brosse, carrosserie d'auto, jouet, étoffe, tuyau, cuvette ou papier), l'esprit ne cesse de poser la matière primitive comme un rébus. C'est que le frégolisme du plastique est total : il peut former aussi bien des seaux que des bijoux. D'où un étonnement perpétuel, le songe de l'homme devant les proliférations de la matière, devant les liaisons qu'il surprend entre le singulier de l'origine et le pluriel des effets. Cet étonnement est d'ailleurs heureux, puisqu'à l'étendue des transformations, l'homme mesure sa puissance, et que l'itinéraire même du plastique lui donne l'euphorie d'un glissement prestigieux le long de la Nature.

Mais la rançon de cette réussite, c'est que le plastique, sublimé comme mouvement, n'existe presque pas comme substance. Sa constitution est négative : ni dur ni profond, il doit se contenter d'une qualité substantielle neutre en dépit de ses avantages utilitaires : la résistance, état qui suppose le simple suspens d'un abandon. Dans l'ordre poétique des grandes substances, c'est un matériau disgracié, perdu entre l'effusion des caoutchoucs et la dureté plate du métal : il n'accomplit aucun des produits véritables de l'ordre minéral, mousse, fibres, strates. C'est une substance tournée : en quelque état qu'il se conduise, le plastique garde une apparence floconneuse, quelque chose de trouble, de crémeux et de figé, une impuissance à atteindre jamais au lisse triomphant de la Nature. Mais ce qui le trahit le plus, c'est le son qu'il rend, creux et plat à la fois ; son bruit le défait, comme aussi les couleurs, car il semble ne pouvoir en fixer que les plus chimiques : du jaune, du rouge et du vert, il ne retient que l'état agressif, n'usant d'eux que comme d'un nom, capable d'afficher seulement des concepts de couleurs.

La mode du plastique accuse une évolution dans le mythe du simili. On sait que le simili est un usage historiquement bourgeois (les premiers postiches vestimentaires datent de l'avènement du capitalisme) ; mais jusqu'à présent, le simili a toujours marqué de la prétention, il faisait partie d'un monde du paraître, non de l'usage ; il visait à reproduire à moindres frais les substances les plus rares, le diamant, la soie, la plume, la fourrure, l'argent, toute la brillance luxueuse du monde. Le plastique en rabat, c'est une substance ménagère. C'est la première matière magique qui consente au prosaïsme ; mais c'est précisément parce que ce prosaïsme lui est une raison triomphante d'exister : pour la première fois, l'artifice vise au commun, non au rare. Et du même coup, la fonction ancestrale de la nature est modifiée : elle n'est plus l'Idée, la pure Substance à retrouver ou à imiter ; une matière artificielle, plus féconde que tous les gisements du monde, va la remplacer, commander l'invention même des formes. Un objet luxueux tient toujours à la terre, rappelle toujours d'une façon précieuse son origine minérale ou animale, le thème naturel dont il n'est qu'une actualité. Le plastique est tout entier englouti dans son usage : à la limite, on inventera des objets pour le plaisir d'en user. La hiérarchie des substances est abolie, une seule les remplace toutes : le monde entier peut être plastifié, et la vie elle-même, puisque, paraît-il, on commence à fabriquer des aortes en plastique. »

Troisième génération : les plastiques performants

La troisième génération de plastiques représente une transition dans le développement des matériaux plastiques, marquant un éloignement du « *plastoc* » (Bertolini, 1991) bon marché des premières décennies pour évoluer vers des plastiques hautement performants capables de répondre à des conditions extrêmes. Ce changement se manifeste dans l'amélioration des propriétés des plastiques, leur permettant de s'adapter à des applications industrielles et technologiques avancées. Des matériaux comme les polymères à haute performance, les plastiques techniques (*cf.* tableau 3), et les composites ont commencé à être développés. Ces plastiques sont conçus pour offrir une résistance accrue à des conditions telles que des températures élevées, des environnements chimiques agressifs, et des contraintes mécaniques sévères. Les principaux domaines d'application de ces plastiques performants sont l'aviation, les équipements de sport, les composants électroniques, les systèmes médicaux, et dans l'industrie automobile pour des pièces nécessitant une grande robustesse, « c'est l'existence d'une grande variété dans les profils de performances requis par les applications qui justifie une telle diversité de polymères ; dans ce domaine de la haute performance, on est proche du « sur mesure » » (Glotin, 2021). Cette troisième génération de plastique s'est développée entre les années 1973 à aujourd'hui.

Une première famille de polymères à hautes performances regroupe des matériaux thermoplastiques, qu'ils soient amorphes⁴² ou semi-cristallins⁴³. Ces matériaux se distinguent principalement par leur aptitude à résister à des températures élevées, généralement supérieures à 100 °C pendant plusieurs années. Cette stabilité thermique est souvent obtenue grâce à l'intégration de cycles aromatiques au sein de la chaîne macromoléculaire. C'est le cas, par exemple, des polyphthalamides (PPA), du polysulfure de phénylène (PPS), ou encore des poly(aryl-éther-cétones) (PAEK) tels que le PEEK et le PEKK. En plus de leur tenue en température, ces matériaux présentent des propriétés complémentaires essentielles selon les usages visés : excellente résistance chimique, résistance au feu, caractéristiques électriques spécifiques, etc. Les polymères fluorés⁴⁴ constituent une autre catégorie de matériaux à hautes performances. Ils se distinguent par leurs excellentes propriétés de surface ainsi qu'une remarquable résistance aux rayonnements UV, ils offrent également une très bonne résistance au feu et à de nombreux agents chimiques agressifs. Enfin, les élastomères à hautes performances sont largement utilisés dans des secteurs variés, tels que l'électronique ou l'automobile. Ils conservent en effet leur élasticité jusqu'à des températures de 180 à 200 °C pendant plusieurs années (Glotin, 2021).

Les polymères techniques sont conçus pour offrir des propriétés mécaniques supérieures, leur permettant de se substituer à des matériaux comme les métaux ou la céramique. Parmi eux, on peut citer les polyamides⁴⁵.

Les matériaux composites résultent de l'association d'une matrice polymère - qu'elle soit thermodurcissable ou thermoplastique - avec des fibres de renfort. On parle de composites hautes performances lorsque ces fibres sont continues (par opposition aux fibres courtes utilisées dans certains mélanges) et que la

42 Polymère « non cristallin, ou dépourvu de structure cristalline » (NF EN ISO 472, 2013).

43 « Polymère comportant des phases cristallines et amorphes » (NF EN 17615, 2022).

44 « Plastique à base de polymères produits avec des monomères contenant un ou plusieurs atomes de fluor, ou des copolymères de tels monomères avec d'autres monomères, le (ou les) monomère(s) fluoré(s) constituant la principale partie en masse » (NF EN ISO 472, 2013).

45 [https://polymerexpert.fr/polymeredefinition/#:~:text=Les %20polym %C3 %A8res %20techniques %2C %20 design %C3 %A9s %20pour,en %20sont %20de %20bons %20exemples](https://polymerexpert.fr/polymeredefinition/#:~:text=Les%20polym%C3%A8res%20techniques%2C%20design%C3%A9s%20pour,en%20sont%20de%20bons%20exemples) consulté en juillet 2025.

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

matrice est constituée d'un polymère à haute performance. Leur essor est directement lié à la recherche d'un allègement des structures, particulièrement pour les domaines des transports, des équipements sportifs, de l'éolien ou du nautisme (Glotin, 2021).

Troisième génération : les plastiques performants		
Les polymères de hautes performances		
Sous-famille	Polymères	Abréviations
Polymères thermoplastiques semi-cristallins	Polyéthercétonecétone	PEKK
	Polyether Ether Ketone	PEEK
	Polyphthalamides	PPA
	Polyarylamide	PARA
	Polyfluorure de vinylidène	PVDF
	Polymère à cristaux liquides	LCP
	Polysulfure de phénylène)	PPS
	Polyamide 11	PA11
	Polyamide 12	PA12
Polymères thermoplastiques amorphes	Polybenzimidazole	PBI
	Les polyimides	PI
	Les polyamide-imides	PAI
	Polyphénylsulfone	PPSU
	Polyétherimide	PEI
	Polyéthersulfone	PESU
	Polysulfone	PSU
	Polyphénylène oxyde	PPO
Élastomères	Perfluoroélastomère	FFKM
	Fluoroélastomères	FKM
	Polysiloxanes	Silicones
	Polyéther bloc amides	PEBA
Polymères fluorés	Polytétrafluoroéthylène	PTFE
	Copolymère éthylènepropylène fluoré	FEP
	Polyamides aromatiques	
	Polybismaléimides	BMI
	Polybenzimidazoles	PBI

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Les polymères techniques		
Polymères thermoplastiques amorphes	Polycarbonate	PC
	Poly(éther de p-phénylène)	PPE
	Poly(méthacrylate de méthyle)	PMMA
	Acrylonitrile butadiène styrène	ABS
	Copolymère Oléfine Cyclique	COC
Polymères thermoplastiques semi-cristallins	Poly(téréphtalate de butylène)	PBT
	Polyamides 66	PA66
	Polyamides 6	PA6
	Polyoxyméthylène	POM
Élastomères	Copolymère séquencé polyester-polyéther	COPE
	Polyuréthane thermoplastique	TPU

Source : Glotin Michel, *Les polymères et composites hautes performances, L'actualité chimique N^{os} 456-457-458, Novembre-Décembre-Janvier 2020-2021.*

Tableau 3 : La troisième génération de plastiques : les plastiques performants du XX^e et XXI^e siècle

L'évolution de la production des plastiques a suivi une trajectoire exponentielle depuis le XX^e siècle. Cette croissance est liée à plusieurs facteurs concomitants : le développement industriel et la consommation de masse ; l'augmentation de la population et de la hausse des revenus (OCDE, 2022). De seulement 35 000 tonnes par an en 1913 au niveau mondial, elle passe à 300 000 tonnes en 1939 (Bertolini, 1991). Après la Deuxième Guerre mondiale, la production dépasse le million, atteignant environ 2 millions de tonnes de plastique produites chaque année dans le monde dans les années 1950⁴⁶. À partir de 1970, la production de plastique a connu une croissance rapide en raison de ses propriétés bon marché, légères et polyvalentes. En 1976, les plastiques sont devenus le matériau le plus utilisé dans les industries, surpassant le métal et le verre⁴⁷. La production annuelle mondiale de plastique a dépassé les 50 millions de tonnes dans les années 1970, atteignant près de 200 millions de tonnes par an à la fin du siècle. Au cours des deux premières décennies du XXI^e siècle, la production mondiale a continué à croître de manière exponentielle, atteignant 335 millions de tonnes en 2016 (Plastics Europe, 2018), puis 390,7 Mt en 2021 (Plastics Europe, 2022), une valeur quasi égale à la biomasse humaine mondiale de 393 Mt (Lebreton & Andrady, 2019). À ce rythme élevé de croissance, les projections annoncent que la production de plastiques pourrait tripler d'ici 2060, atteignant 1 231 Mt (OCDE, 2022).

Avec l'augmentation continue de la demande de plastiques, la consommation de combustibles fossiles et les émissions de carbone associées devraient croître en tendance. D'ici 2050, la production et le traitement des plastiques pourraient représenter jusqu'à 20 % de la consommation mondiale de pétrole et 15 % des émissions globales de carbone annuelles (Forum économique mondial, 2016 ; Lebreton &

46 <https://ourworldindata.org/plastic-pollution>, consulté en octobre 2024

47 <https://plastics-themag.com/Polymers:-a-colourful-history>, consulté en octobre 2024

Andrady, 2019). Enfin, cette hausse de production de plastique entraînera irrévocablement une augmentation des déchets plastiques. Dans la suite de ce chapitre, nous nous pencherons sur les voies de traitements existantes, les différentes formes que prennent ces déchets plastiques, leurs devenir dans l'environnement, ainsi que les nombreux impacts qu'ils engendrent.

Homo detritus : du tout acheter au tout à jeter

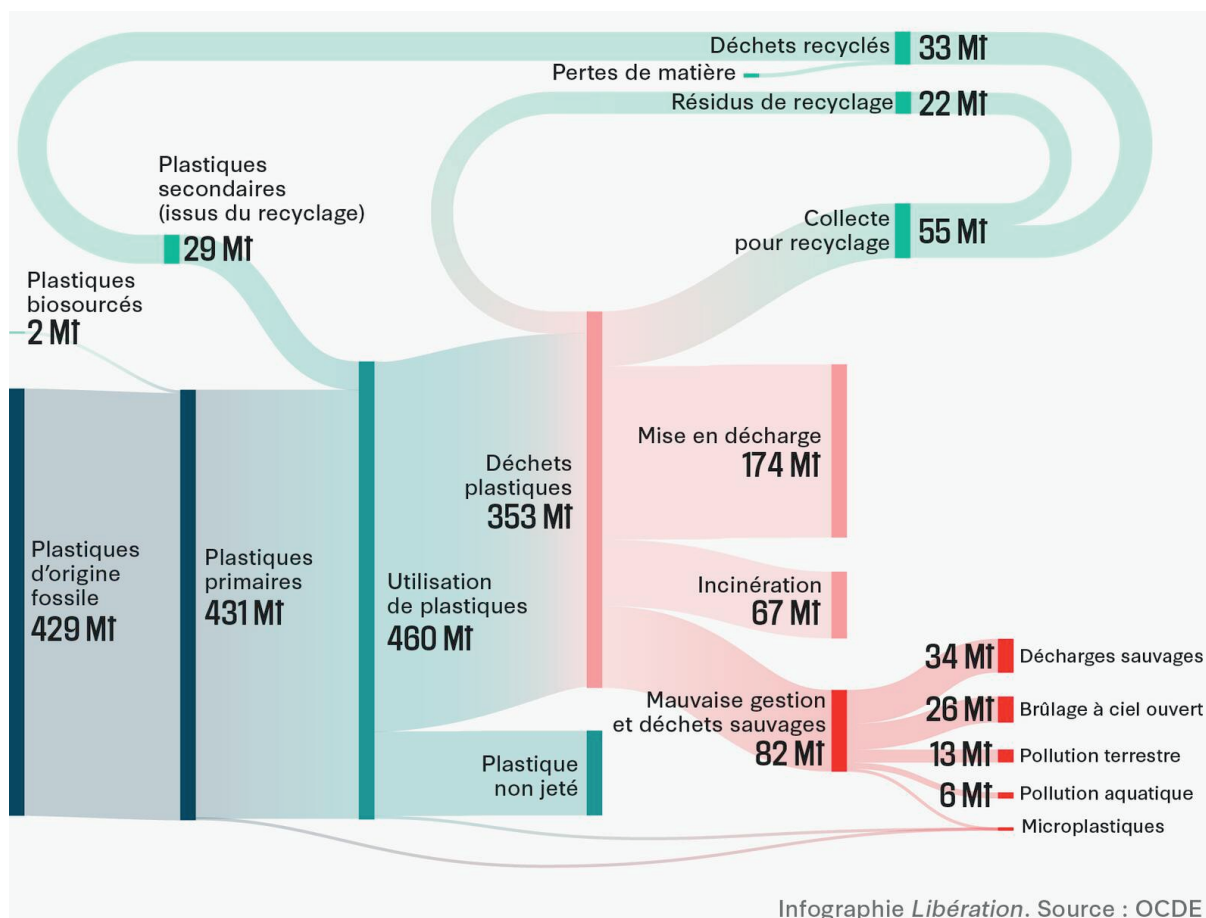
Bien que la pollution plastique soit antérieure, ce n'est qu'à partir des années 1970 que les chercheurs commencent à en souligner l'ampleur et les conséquences néfastes (Carpenter & Smith, 1972 ; Blot et al., 2021), amenant à la deuxième période, désignée par « Homo detritus » (Monsaingeon, 2017). Elle marque le début d'une crise environnementale provoquée par une pollution plastique massive, globale et incontrôlable. Les déchets plastiques sont désignés comme étant au cœur du problème, c'est pourquoi nous examinerons d'abord la production de ces déchets ainsi que les différentes voies possibles de leur traitement, selon la hiérarchie des modes de traitement. Ensuite, nous aborderons la fragmentation des plastiques en macro, micro et nanoparticules qui soulève d'importantes préoccupations environnementales et sanitaires, entraînant une prise de conscience politique.

Une production de déchets ayant des impacts sur le temps long

Chaque année, la production mondiale de plastiques ne cesse d'augmenter, passant de 2 Mt dans les années 1950 à 460 Mt en 2019 (OCDE, 2022), conséquence directe de la croissance démographique et de la demande croissante en matériaux plastiques. Cette expansion a entraîné une augmentation proportionnelle des déchets plastiques générés, puisque ce matériau a pour atout et contrainte principale sa persistance dans le temps, accentuant la pression, au mieux, sur les systèmes de gestion des déchets, au pire, sur l'environnement. Peu réutilisés, peu réemployés et peu recyclés⁴⁸, ils finissent souvent par être incinérés, envoyés en décharge, ou, dans le pire des cas, par se retrouver dans l'environnement. Au niveau mondial, 353 Mt de déchets plastiques sont produites en 2019, et seules 33 Mt sont recyclées (cf. figure 3), c'est-à-dire 9,4 % des déchets plastiques, contre 174 Mt mis en décharge (49,3 %) et 67 Mt incinérés (19 %) Ce déséquilibre marqué dans les modes de traitement des déchets plastiques est le résultat d'une prise de conscience trop récente, de politiques de gestion tardives et insuffisamment contraignantes, du manque d'infrastructures adaptées, ainsi que des disparités dans les approches de gestion des déchets d'un pays à l'autre, tel que tout cela sera détaillé dans les chapitres suivants. En effet, de nombreux pays n'ont adopté que récemment des réglementations visant à réduire l'impact des plastiques, souvent sous la pression de crises environnementales visibles, comme la pollution des océans. Toutefois, ces politiques restent souvent faibles ou incomplètes, surtout partiellement appliquées, ayant du mal à atteindre les objectifs de recyclage lorsqu'ils existent, ayant encore plus de mal à fixer des objectifs de réduction de la production. Par ailleurs, les infrastructures de gestion des déchets varient largement d'une région à l'autre : alors que certains pays développés disposent de systèmes de recyclage quelque peu efficaces, de nombreux pays en développement manquent des ressources nécessaires pour mettre en place des

48 Ces trois termes ont des définitions bien distinctes et renvoient chacun à un état particulier de la matière : « Le terme de réemploi sera réservé à un emploi identique à l'emploi initial. La réutilisation, pour un usage différent de l'usage initial, conserve non seulement la matière, mais également tout ou partie de la forme initiale. Le recyclage, « qui fait appel à un procédé industriel, conserve certes la matière, mais détruit la forme initiale » (Bertoloni, 2011).

installations de tri et de valorisation des déchets (PNUE, 2018), même s'ils bénéficient souvent d'une activité informelle florissante de réemploi d'une part, de recyclage d'autre part, permettant ainsi d'éviter des flux massifs de déchets (Cavé, Durand, Pierrat, 2020). En valeur absolue ce sont toutefois souvent les pays les plus aisés qui produisent des quantités bien plus grandes de déchets, faisant que l'impact des pays en développement reste faible proportionnellement à leur population (Durand, 2024). Cela conduit à une surreprésentation de l'enfouissement et de l'incinération, pratiques souvent privilégiées en l'absence d'alternatives viables.



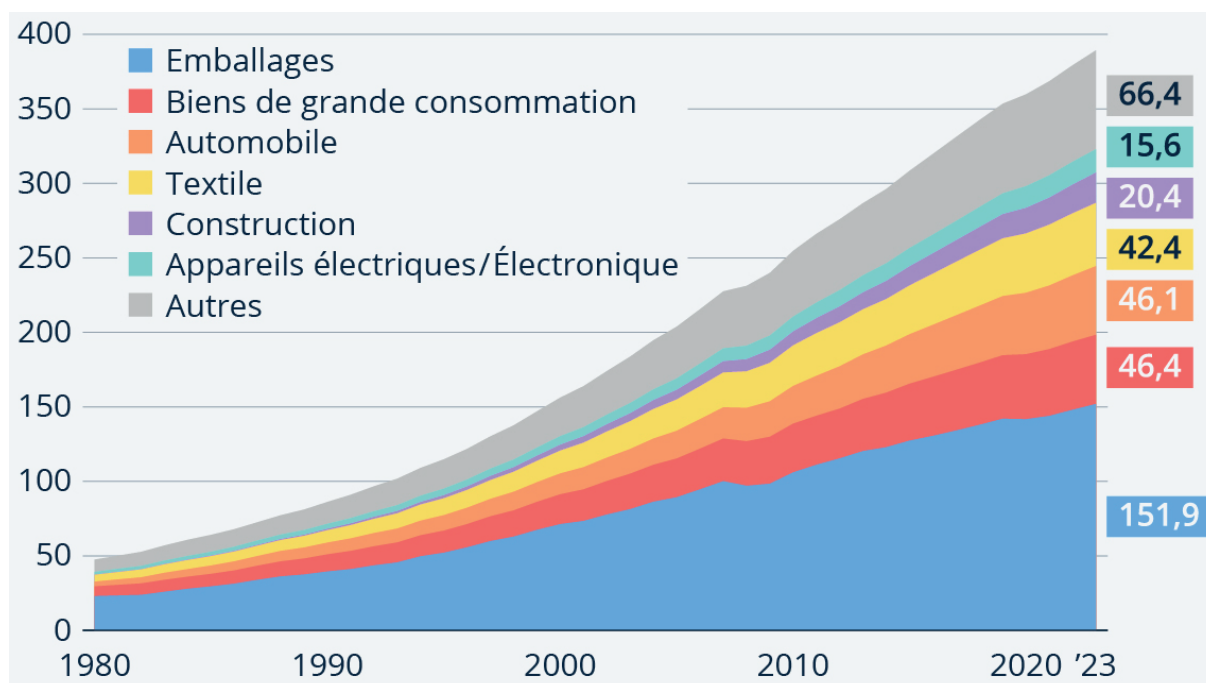
Source OCDE, réalisée par Alice Clair et Coralie Schaub, journal Libération⁴⁹, 2023

Figure 3 : Bilan matière des plastiques mondiaux en 2019 en Mt

Depuis 1950, seuls 9 % du plastique consommé a été réellement recyclé, tandis que près de la moitié a terminé sa course en décharge ou dans l'environnement naturel (Geyer et al., 2017). Cependant, cette tendance n'a pas freiné la croissance mondiale des déchets plastiques, qui continue de s'intensifier dans tous les secteurs d'utilisation (cf. figure 4). Depuis 1980, la production mondiale de déchets plastiques par secteur d'utilisation affiche une augmentation continue dans tous les domaines. Sans surprise du fait de la forte consommation de plastiques de ce secteur, le domaine des emballages est le secteur d'activité le plus pourvoyeur de déchets plastiques avec 151,9 millions de tonnes produites en 2023 au niveau mondial. La croissance a été rapide depuis 1980, ce qui témoigne une nouvelle fois de l'utilisation

49 https://www.liberation.fr/environnement/pollution/plastique-les-chiffres-qui-racontent-notre-addiction-mortelle-20230529_EPWXIW7NOVD7VAFJMSAQDNYRAQ/ consulté en octobre 2024

intensive des plastiques dans les emballages. Les autres principaux secteurs générant une grande quantité de déchets plastiques sont les biens de grande consommation (mobilier, jouets, etc.), l'automobile et le textile. Tous ces secteurs connaissent une augmentation exponentielle.



Réalisé par T. Gaudiaut, *Gestion des déchets : le monde croule sous le plastique*, 2023
Source : OCDE, 2023 : <https://www.oecd.org/en/topics/plastics.html>

Figure 4 : Production mondiale de déchets plastiques selon les domaines d'utilisation, en Mt

Selon Geyer et al., (2017), la durée d'utilisation des plastiques varie considérablement en fonction de leur secteur d'application. Les emballages ont ainsi une utilisation à très court terme, c'est-à-dire avec un pic de consommation inférieur à une année, ayant ainsi un impact environnemental plus important, puisqu'ils nécessitent la consommation de nombreuses ressources pour un usage très court. La faiblesse de leur durée de vie adjointe à leur production massive induit une quantité très importante d'emballages rejetés sous forme de déchets. En revanche, les plastiques utilisés dans les secteurs de la construction et des machines industrielles sont conçus pour durer beaucoup plus longtemps, connaissant un pic de consommation respectivement à 33 ans et à 20 ans. Ces produits finissent toutefois également par entrer dans les flux de déchets, ne faisant que retarder les difficultés de leur gestion. C'est ainsi qu'en favorisant parfois le recyclage des déchets d'emballages en biens de consommation à destination de la construction ou de l'industrie, on ne fait que reporter les difficultés dans le temps. Si cette approche peut permettre sur le court terme de gérer les flux, elle voit sur le long terme les quantités de déchets à venir se cumuler.

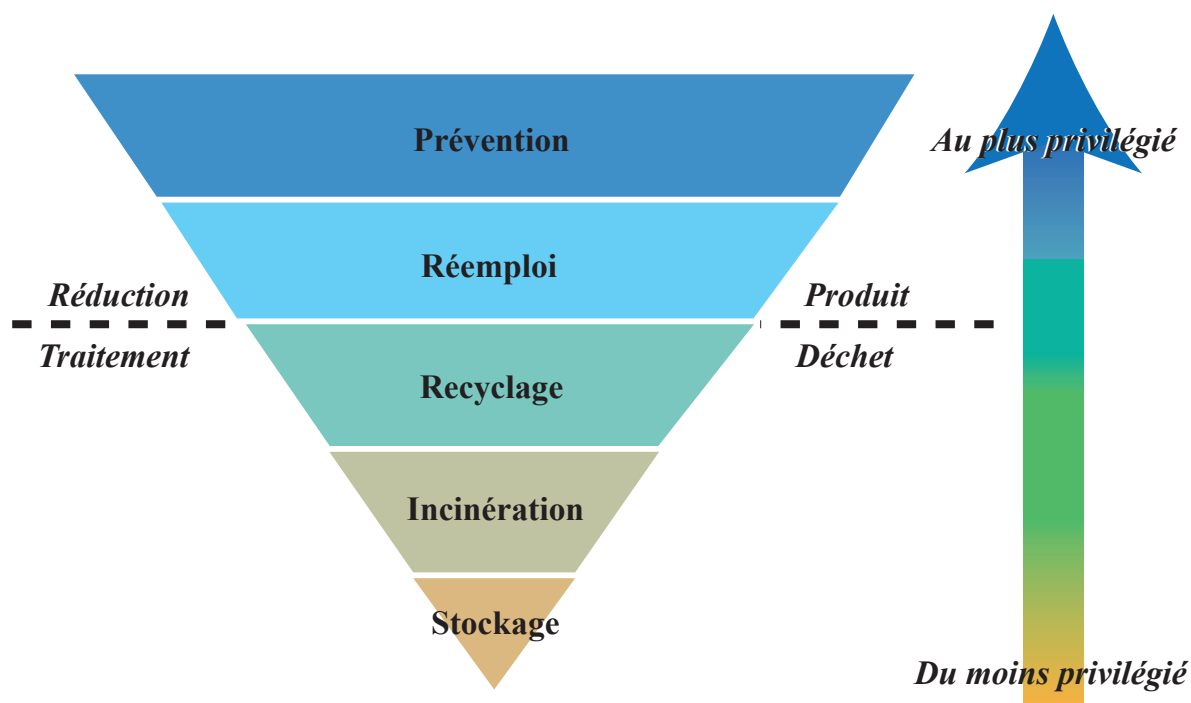
Une hiérarchie (fictive) des modes de traitement en Europe

Au sein de l'Union européenne (UE), la situation est similaire à la situation mondiale en termes de production de déchets plastiques : la quantité de déchets n'a cessé d'augmenter, passant de 12,48 millions de tonnes en 2011 à 16,3 millions de tonnes en 2021, même si cette croissance est

moins exponentielle que dans les pays émergents. Bien que le taux de recyclage ait également progressé, il demeure faible et uniquement proportionnel à l'accroissement des déchets, ne réussissant pas à rattraper son retard. Ainsi, 4,54 millions de tonnes de déchets plastiques sont recyclées en 2011, contre 6,56 millions de tonnes en 2021 (European Parliament. 2021), ce qui représente respectivement 36,4 % et 40,2 % des flux.

De la prévention au stockage des déchets plastiques

Cette tendance suscite des interrogations quant au principe légalement à l'œuvre de hiérarchie des modes de traitement des déchets. La hiérarchie a été définie par la Directive 2008/98/CE, intégrée dans l'Article L. 541-1 II du Code de l'environnement. Il s'agit d'un des principes de base de la gestion des déchets, existant en France depuis 1992, censés orienter l'ensemble des politiques publiques et des financements. Elle privilégie (*cf.* figure 5), dans cet ordre, (1) la prévention des déchets.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2025

Figure 5 : Hiérarchie des modes de traitement des déchets

La prévention commence par la réduction des déchets à la source (Dormoy, 2024). Elle englobe plusieurs types d'actions impliquant aussi bien les consommateurs que les entreprises. Il s'agit de « la restriction d'utilisation ou de mises sur le marché de certains produits à usage unique (notamment en plastique), l'écoconception des produits, l'allongement de la durée d'usage des produits (à travers la réparation, le réemploi et la réutilisation) et les comportements d'achats responsables »⁵⁰. En France, concernant les plastiques, la loi Agéc de 2020 prévoit une interdiction progressive de la mise sur le marché de certains emballages plastiques à usage unique, tels que les pailles, gobelets,

50 [https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/cadre-general-prevention-dechets#:~:text=La %20pr %C3 %A9vention %20 des %20d %C3 %A9chets %20consiste,de %20production %20et %20de %20consommation](https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/cadre-general-prevention-dechets#:~:text=La%20pr%C3%A9vention%20des%20d%C3%A9chets%20consiste,de%20production%20et%20de%20consommation) consulté en juillet 2025

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

verres, assiettes, etc., ainsi que des emballages et sacs en plastique oxodégradable, des emballages composés de polymères ou copolymères styréniques⁵¹, et des produits contenant intentionnellement des microplastiques⁵², comme dans certains cosmétiques. Cette interdiction cible en priorité les emballages, car ils représentent la plus grande part des déchets plastiques en volume, et sont généralement conçus pour un usage très court. En matière d'écoconception, cela peut notamment se traduire par la substitution des plastiques par d'autres matériaux, comme le verre, le papier ou le carton. Toutefois, il est essentiel de prendre en compte le cycle de vie complet de ces matériaux et leurs impacts environnementaux (Gastaldi, 2025) pour ne pas déplacer le problème. L'écoconception peut également impliquer le recours à des polymères recyclables, l'intégration de matières plastiques recyclées (MPR), ainsi que l'optimisation du poids, du design et d'autres aspects techniques, notamment les dimensions du produit, et s'assurer que les éléments associés (opercule, colle, étiquette, etc.) n'entravent ni le tri, ni le recyclage, ni le réemploi, ni la réparation.

Ensuite, les comportements d'achat responsables en matière de plastique peuvent se traduire par le recours à la vente en vrac, permettant ainsi de supprimer les emballages plastiques (Gastaldi, 2025). De même, des dispositifs de recharge d'un flacon ou d'une bouteille, largement adoptés pour les produits ménagers ou cosmétiques, permettent de réduire l'utilisation d'emballages neufs.

Enfin, la réutilisation et (2) la préparation en vue du réemploi, permettent d'éviter de produire des déchets en réutilisant ou réemployant des objets, « le terme de réemploi sera réservé à un emploi identique à l'emploi initial » (Bertoloni, 2011) comme par exemple un gobelet en plastique réutilisable (aussi appelé éco-cup), utilisé lors d'un événement pour boire une boisson, est ensuite lavé et réemployé à d'autres reprises (*cf.* photographie 2). Tandis que la réutilisation est utilisée pour désigner « un usage différent de l'usage initial conserve non seulement la matière, mais également tout ou partie de la forme initiale » (Bertoloni, 2011), au lieu de jeter une bouteille en plastique après usage, celle-ci est réutilisée par exemple comme pot de fleurs, conservant ainsi sa matière et une partie de sa forme initiale (*cf.* photographie 1).

51 <https://www.economie.gouv.fr/cedef/fiches-pratiques/interdiction-du-plastique-usage-unique-quels-produits-sont-concernes> consulté en juillet 2025

52 <https://www.notre-environnement.gouv.fr/actualites/breves/article/certains-produits-contenant-des-microplastiques-interdits-a-la-vente> consulté en juillet 2025



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Dakar, Sénégal, 2022.

Photographie 1 : Bouteille en plastique réutilisée en pot de fleurs



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2023.

Photographie 2 : Éco-cup réemployable

Le réemploi repose sur des cycles de production/consommation structurés et organisés, permettant la faisabilité et la praticité de ces pratiques. Selon l'article R541-350 du Code de l'environnement, il s'agit d'utiliser des emballages spécialement conçus pour être nettoyés, réparés et réemployés de manière répétée. Cette approche est déjà possible dans plusieurs secteurs en France : dans les boissons avec des bouteilles en polyéthylène téréphtalate (PET) lavables et réemployables, la restauration où des contenants en polypropylène (PP) sont privilégiés pour les repas à emporter ou encore la logistique qui utilise des caisses et palettes en polyéthylène haute densité (PEHD), conçues pour résister à de nombreux cycles d'utilisation.

L'ensemble de ces leviers permet d'annuler ou de retarder le passage du statut de produit à celui de déchet, « les politiques de prévention entendent ainsi éviter que des objets ou des matières encore utilisables, délaissés par leurs propriétaires, ne deviennent des déchets au sens juridique et administratif » (Benelli et al., 2017). Ces trois axes – interdiction, réutilisation et réemploi – forment à ce titre les piliers d'une prévention des déchets plastiques qui devrait, selon la hiérarchie en vigueur, être théoriquement priorisée sur les autres modes de gestion des déchets. Toutefois, leur succès dépend étroitement de leur intégration dans un cadre global de sobriété matérielle. Il s'agirait alors de rompre avec un modèle fondé sur une consommation massive de plastiques jetables, qui conduit inévitablement à privilégier des solutions de fin de vie, telles que l'incinération ou la mise en décharge, encore largement majoritaire aujourd'hui.

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

La valorisation matière (3) par le recyclage des matières ou par le compostage des déchets organiques, c'est-à-dire leur destruction par un procédé industriel pour récupérer les matériaux dont ils sont constitués (Bertoloni, 2011). C'est à ce stade que le matériau acquiert le statut de déchet. La valorisation matière des plastiques comprend trois types d'opération de traitement qui sont le recyclage mécanique, le recyclage chimique et le recyclage organique.

Le recyclage organique, aussi appelé le compostage des déchets plastiques, consiste en un traitement aérobie (compostage) ou anaérobie (digestion) de plastiques biodégradables dans des conditions contrôlées. Ce procédé utilise des micro-organismes pour décomposer la matière : en présence d'oxygène, il produit des résidus organiques stabilisés, du dioxyde de carbone et de l'eau ; en absence d'oxygène, il génère des résidus organiques stabilisés, du méthane, du dioxyde de carbone et de l'eau (NF EN ISO 472, 2013). Le recyclage chimique des plastiques, quant à lui, repose sur la conversion des déchets en monomères ou en nouvelles matières premières par modification de leur structure chimique, via des procédés tels que le craquage, la gazéification ou la dépolymérisation (NF EN ISO 472, 2013). Enfin, le recyclage mécanique consiste à traiter les déchets plastiques en matière première secondaire (dite MPR matière plastique recyclée) sans modification significative de la structure chimique. Dans ce cadre, la paillette désigne un rebroyé de plastique de forme aplatie (*cf.* photographie 3), couramment utilisé comme matière première dans le processus de recyclage (NF EN ISO 472, 2013).



J.PEREZ, Centre de tri Trivalis, Vendée, décembre 2022.

Photographie 3 : État de la matière plastique recyclée mécaniquement

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Puis (4) la valorisation énergétique, par exemple l'incinération, permet la combustion de déchets plastiques, elle « constitue une alternative plus respectueuse de l'environnement que la mise en décharge, car les déchets ne sont pas dispersés dans l'environnement, néanmoins, les ressources sont épuisées par cette alternative » (Wagner & Schlummer, 2020). L'incinération des déchets plastiques, souvent présentée (réglementairement) comme une solution de valorisation énergétique, consiste à brûler ces matériaux pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Bien qu'elle permette de réduire le volume des déchets et de récupérer une partie de leur énergie, cette pratique soulève plusieurs enjeux environnementaux et sanitaires. Les plastiques présentent certes un pouvoir calorifique élevé, rendant leur combustion efficace pour chauffer de l'eau et produire de la vapeur. Cette vapeur actionne une turbine, dont l'énergie mécanique est transformée en électricité grâce à un alternateur. Toutefois, ce procédé présente des limites importantes, notamment l'émission de gaz à effet de serre, principalement du dioxyde de carbone (CO₂), ainsi que des composés toxiques, tels que les gaz acides (HCl, SO₂, HF), les dioxines, les furannes, les métaux lourds et d'autres substances polychlorées (Khodakov et al., 2020). Si ces substances sont récupérées dans les fumées, elles nécessitent toujours un traitement postérieur.

En plus de l'incinération, les déchets plastiques peuvent être valorisés par la production de Combustibles Solides de Récupération (CSR). Selon l'article R541-8-1 du Code de l'environnement, un « combustible solide de récupération est un déchet non dangereux solide, composé de déchets qui ont été triés de manière à en extraire la fraction valorisable sous forme de matière dans les conditions technico-économiques du moment, préparé pour être utilisé comme combustible ». La production de CSR repose sur une première étape de préparation où les déchets résiduels (provenant des résidus de tri des déchets d'activités économiques (DAE), des ordures ménagères résiduelles (OMr), ou de certains déchets industriels), tels que les plastiques, papiers-cartons, bois et biodéchets, sont extraits, séchés si nécessaire, puis broyés pour obtenir un produit homogène, souvent sous forme de paillettes ou de copeaux, également appelés fluff. Ces CSR sont ensuite utilisés dans des équipements industriels, tels que des chaudières industrielles, des cimenteries, des centrales thermiques ou encore des réseaux de chaleur urbains (Déchets infos n° 287, 2024). Contrairement à l'incinération classique, la combustion de CSR n'est pas soumise à la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP), ce qui en fait une solution économiquement attractive. De plus, la valorisation en CSR vise principalement la production d'énergie, alors que l'incinération a pour finalité première le traitement des déchets, la récupération de chaleur étant un objectif secondaire (Jacob, 2022). Cela implique une différence majeure dans la chaîne de traitement : la fabrication de CSR nécessite une préparation poussée pour garantir une combustion efficace, ce qui n'est pas toujours le cas pour les déchets dirigés vers l'incinération. Cependant, l'utilisation des CSR soulève également des préoccupations environnementales. En particulier, la combustion de certains plastiques peut libérer des substances toxiques telles que des dioxines bromées, issues de retardateurs de flamme bromés présents dans certains déchets, comme les DEEE (déchets d'équipements électriques et électroniques), les résidus de broyage automobile (RBA), les déchets d'éléments d'ameublement (DEA) ou encore certains déchets du bâtiment (par exemple, le polystyrène expansé) (Déchets infos n° 104, 2016).

Et enfin (5) leur stockage, longtemps appelé à tort « élimination », par la mise en décharge des déchets, c'est-à-dire leur simple enfouissement. La mise en décharge, constitue la dernière solution de traitement des déchets en fin de vie. Elle est très impactante en termes de consommation de foncier, tout en

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

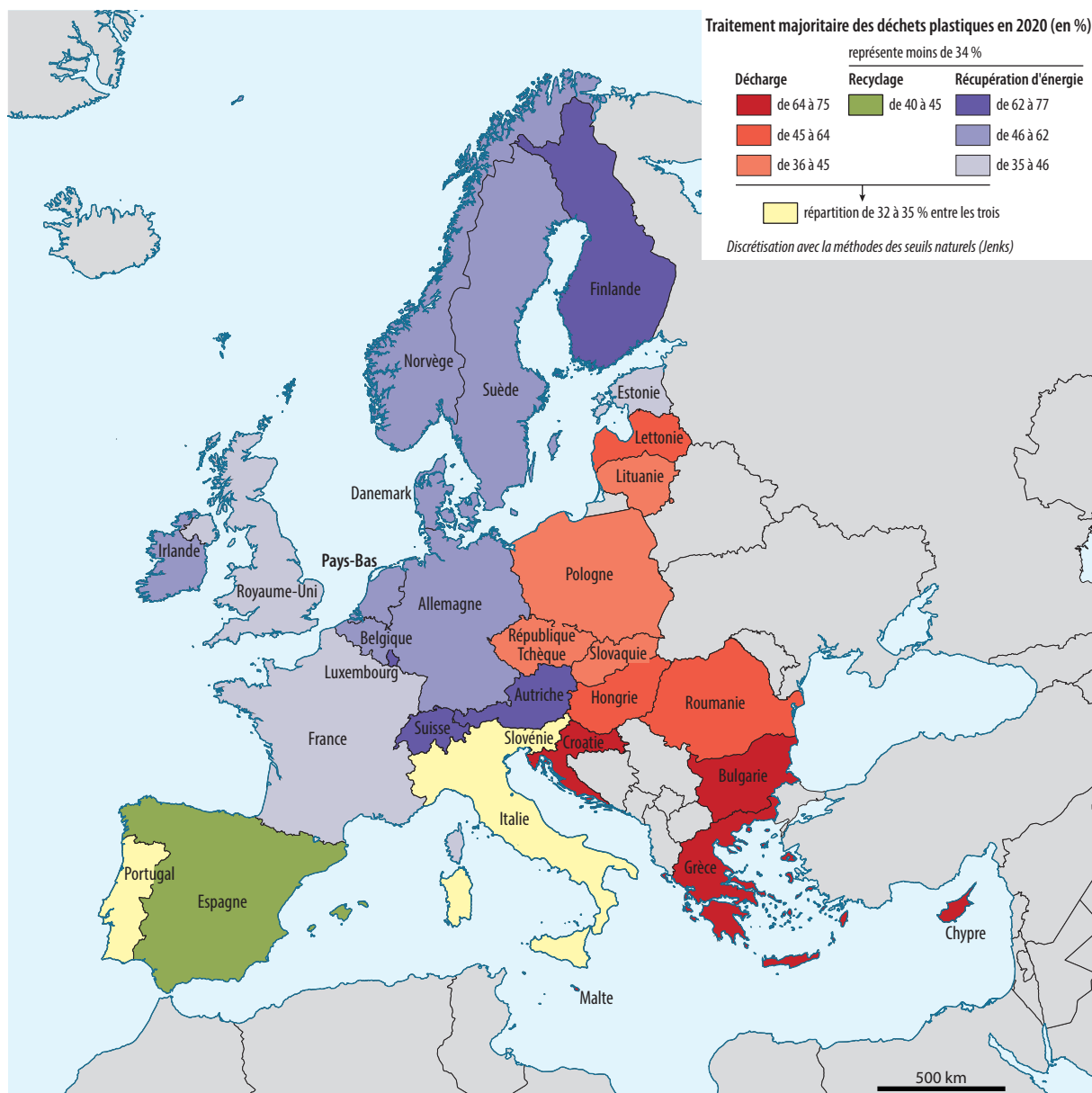
contribuant au gaspillage de ressources, puisqu'elle ne permet de récupérer ni matière ni énergie (ou seulement à la marge). Lorsque les déchets plastiques sont enfouis dans des décharges, ils restent dans le sol pendant des périodes extrêmement longues, libérant progressivement des substances chimiques dangereuses, telles que des phtalates, du bisphénol A (BPA) et d'autres additifs toxiques contenus dans les plastiques. Si les plastiques des décharges sont très bien isolés du sol grâce à des géomembranes, la migration de ces substances sur le très long terme n'est pas parfaitement connue.

L'objectif affiché par la hiérarchie des modes de traitement est de sortir d'un modèle linéaire basé sur l'extraction, la consommation, puis l'élimination, pour adopter une économie circulaire où les déchets sont limités et deviennent une ressource. Ainsi, l'incinération et le stockage ne devraient être envisagés qu'en dernier recours, dans un système où la prévention, le réemploi et le recyclage occuperaient une place plus centrale.

Des disparités de traitement des déchets plastiques au sein de l'UE

Dans le cas des déchets plastiques, cette hiérarchie ne correspond pas à la réalité des chiffres. En effet, au niveau de l'UE, en 2020, la valorisation énergétique arrive en première avec 42 % des déchets plastiques post-conommation incinérés, puis vient le recyclage (35 %) et l'élimination par la mise en décharge (23 %) (Plastics Europe, 2022). En France, la situation est encore moins bonne, avec 44 % de plastiques incinérés, 31 % mis en décharge et seulement 25 % recyclés. Ainsi, malgré la réglementation en vigueur, la hiérarchie des modes de traitement des déchets n'est pas encore correctement appliquée. En 2020, à la fois au niveau de l'UE et en France, la valorisation énergétique prédomine largement sur le recyclage, tandis que la prévention et le réemploi restent sous-exploités. Cette situation contraste avec les objectifs de durabilité fixés par les réglementations, soulignant une mise en œuvre insuffisante de cette hiérarchie.

Il existe d'importantes disparités dans le traitement des déchets plastiques entre les pays de l'Union européenne (Collard, 2020) (*cf.* carte 1).



Carte 1 : Traitement majoritaire des déchets plastiques en 2020 en Europe

Dans dix pays, des politiques strictes de limitation de la mise en décharge ont été instaurées, permettant de maintenir les taux d'enfouissement en dessous de 2 % (Plastics Europe, 2022). Il s'agit notamment des Pays-Bas, de la Norvège, de l'Allemagne, du Danemark, de la Suisse, de la Belgique, du Luxembourg, de l'Autriche, de la Finlande et de la Suède.

Ces pays privilégient d'abord l'incinération, comme les Pays-Bas, où 55 % des déchets plastiques sont incinérés, avant de recourir au recyclage, qui représente 45 % du traitement des plastiques dans ce pays. De manière similaire, la Norvège recycle 44 % de ses déchets plastiques, avec seulement 2 % mis en décharge, tandis que l'Allemagne affiche 42 % de recyclage pour 1 % d'enfouissement. Le Danemark

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

(40 % recyclés, 2 % décharge) et la Suède (39 % recyclés, 1 % décharge) suivent cette même logique de hiérarchisation du traitement.

Pour atteindre de tels résultats, ces pays ont mis en place des instruments réglementaires et économiques contraignants⁵³ : des taxes élevées sur la mise en décharge, des interdictions progressives d'enfouissement pour certains types de déchets, ainsi que des systèmes de responsabilité élargie des producteurs (REP), obligeant les industriels à prendre en charge la gestion de leurs déchets plastiques.

En contraste, d'autres États membres continuent à enfouir plus de 50 % de leurs déchets plastiques. C'est le cas de la Hongrie, de la Bulgarie, de Malte, de la Grèce, de Chypre, de la Croatie, de la Roumanie et de la Lettonie. Ce constat s'explique en partie par l'absence de taxe de mise en décharge des déchets ménagers dans certains de ces pays, comme Chypre, Malte et la Croatie⁵⁴.

Enfin, certains pays affichent un taux de recyclage élevé tout en conservant une forte dépendance à la mise en décharge. Par exemple, l'Espagne recycle 43 % de ses déchets plastiques, mais en enfouit encore 36 %, et la République tchèque atteint 39 % de recyclage pour une part équivalente en décharge. Cela souligne que des performances globales en recyclage ne garantissent pas nécessairement une politique efficace de réduction de l'enfouissement si des mesures complémentaires ne sont pas mises en œuvre.

À noter que la Suisse, les Pays-Bas, le Luxembourg et l'Autriche ont totalement éliminé la mise en décharge des déchets plastiques, atteignant un taux de 0 % d'enfouissement. Par exemple, en Suisse, cela a été possible, car la législation interdit strictement la mise en décharge des déchets plastiques, imposant leur valorisation soit par le recyclage, soit par l'incinération avec récupération d'énergie (Conseil Fédéral, 2022).

Encadré 3 : L'exportation, autre solution de traitement des déchets plastiques européen

Parmi les voies de traitement des déchets plastiques – recyclage, incinération, mise en décharge – l'exportation constitue une modalité supplémentaire, utilisée par de nombreux pays industrialisés. Loin de se limiter à une opération logistique, l'exportation des déchets plastiques s'inscrit dans une économie mondialisée du traitement des déchets, où les considérations environnementales, économiques et géopolitiques s'entrecroisent.

Selon Martin *et al.* (2021), les flux d'exportation de déchets plastiques peuvent être classés en trois grandes catégories : (1) l'exportation vers des pays disposant d'une forte capacité industrielle de recyclage ; (2) l'exportation vers des pays présentant une forte demande en énergie (comme les Pays-Bas ou l'Allemagne), où les plastiques peuvent être valorisés dans des unités de récupération énergétique ; (3) et surtout, les flux massifs vers des pays à faibles coûts de main-d'œuvre, notamment la Malaisie ou encore la Turquie. Le tri et le recyclage des plastiques étant des opérations intensives en travail, ces pays constituent des destinations attractives, tant pour des raisons de coût que de souplesse réglementaire.

Dans ce contexte, l'exportation s'apparente à une forme délocalisée de traitement, qui vise à réduire les coûts associés à la valorisation des matières, et parfois à échapper à des contraintes réglementaires plus strictes dans les pays d'origine. Si la logique affichée de l'exportation demeure celle du recyclage des déchets, la réalité est plus contrastée : de nombreux pays importateurs ne disposent pas d'infrastructures adaptées, et les plastiques y sont fréquemment enfouis ou incinérés de manière informelle.

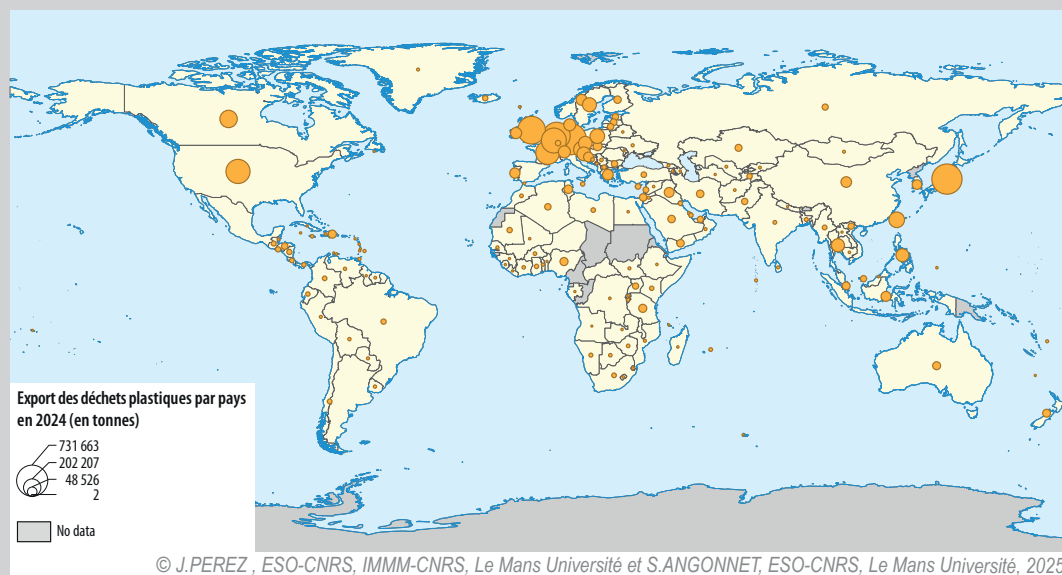
53 <https://www.touteurope.eu/environnement/reduction-et-valorisation-des-dechets-que-fait-l-europe/> consulté en juillet 2025

54 <https://www.touteurope.eu/environnement/reduction-et-valorisation-des-dechets-que-fait-l-europe/> consulté en juillet 2025

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Ainsi, l'exportation, loin de garantir une fin de vie durable aux déchets plastiques, peut masquer une externalisation de la charge environnementale. Comme le souligne l'OPECST (2023), elle engendre une reconfiguration statistique trompeuse de la responsabilité environnementale : les pays exportateurs apparaissent comme moins pollueurs, tandis que les pays importateurs – souvent en développement – se voient attribuer une plus grande part apparente de la production mondiale de déchets.

En 2024, l'Allemagne a été classée comme le premier exportateur mondial de déchets plastiques (731 Mt) (cf. carte 2), suivie par le Japon, avec 683 Mt expédiées. Le Royaume-Uni arrive en troisième, avec 564 Mt exportées. La France, quant à elle, occupe la septième position avec 404 Mt de déchets plastiques exportés. Une part importante de ces déchets était alors dirigée vers la Chine, puis, après l'interdiction chinoise de 2017, vers la Malaisie et d'autres pays d'Asie du Sud-Est.



Carte 2 : Exportations mondiales des déchets plastiques en 2022

En effet, les autorités chinoises ferment les frontières en 2017 après un constat environnemental alarmant (Le Monde Diplomatique, 2021). Il s'agit notamment de déchets reçus bien plus mélangés et de faible qualité par rapport à ce qui était prévu, engendrant un recyclage difficile. Par ailleurs, les importations ont été arrêtées, car la Chine elle-même augmente sa production de déchets en raison du développement démographique et économique du pays. La nécessité est donc de traiter en priorité ses propres déchets. Enfin, la Chine a pu se permettre d'arrêter ces exportations, car son appareil industriel s'est modernisé, dépendant aujourd'hui plus d'importation de produits déjà transformés à forte valeur ajoutée, et moins de matières premières secondaires de faible qualité et faible coût que constituent les déchets.

Cette fermeture a alors provoqué un déplacement des importations de déchets plastiques vers l'Asie du Sud-Est, principalement en Malaisie, Indonésie et Thaïlande. En 2016, près de 70 % de ces déchets provenaient des pays de l'OCDE et étaient majoritairement destinés à des pays à faibles revenus d'Asie de l'Est et du Pacifique. Ce changement de cap pourrait entraîner le déplacement de 111 millions de tonnes de déchets plastiques d'ici 2030 (Outters & De Miguel, coord., 2020). Or ces pays ne disposent pas d'infrastructures techniques suffisantes pour le traitement de ces déchets, engendrant donc une mauvaise gestion et des impacts environnementaux et sanitaires locaux devenus rapidement insurmontables. Au Ghana, par exemple, des niveaux records de dioxines ont été relevés sur un site de recyclage, illustrant les risques toxiques liés à une gestion inadéquate des déchets plastiques importés (Outters & De Miguel, coord., 2020).

Cette reconfiguration géographique, induite par le « choc chinois » (Martin et *al.*, 2021), a mis en lumière les insuffisances du système national de traitement, mais aussi une certaine dépendance à l'exportation comme soupape structurelle de la gestion des déchets plastiques.

Loin d'être marginale, cette stratégie d'exportation est révélatrice des inégalités globales dans l'organisation du recyclage. Elle repose sur une tension fondamentale : l'exportation peut, en théorie, contribuer à une forme de recyclage circulaire international, mais, en pratique, elle expose les pays importateurs à des dérives environnementales et sanitaires majeures.

Face à ces constats, l'Union européenne a adopté, au 1^{er} janvier 2021, une réglementation interdisant l'exportation de déchets plastiques vers les pays non membres de l'OCDE, sauf pour les déchets « propres » envoyés spécifiquement pour recyclage.

Dans un monde confronté à une crise structurelle du plastique, l'exportation ne peut plus être considérée comme une solution par défaut. Elle doit être intégrée à une réflexion plus large sur les capacités nationales de traitement et la transparence des flux. Car, en définitive, externaliser les déchets, c'est aussi externaliser les risques.

Alors que la gestion des déchets plastiques repose encore sur des solutions de fin de cycle (c'est-à-dire de gestion une fois l'existence des déchets), la prévention représente une opportunité essentielle pour réduire leur quantité en amont. Cette prévention se concentre principalement sur les emballages plastiques, conformément aux cadres réglementaires et à la part significative des déchets d'emballages produits. À l'échelle européenne, la directive SUP (*Single-Use Plastics*), adoptée en 2019, a marqué une étape importante en interdisant des déchets d'emballages plastiques à usage unique⁵⁵, tels que les pailles, les couverts en plastique et les Cotons-Tiges. Cependant, ces mesures restent encore limitées au regard de la diversité et du volume des plastiques produits chaque année.

De nombreux autres produits plastiques échappent encore à des régulations strictes. De plus, bien que ces interdictions constituent une avancée symbolique et un point de départ nécessaire, elles ne s'attaquent pas pleinement aux systèmes de production et de consommation responsables de l'accumulation de déchets plastiques. La production mondiale de déchets plastique reste en constante augmentation (passant de 156 Mt en 2000 à 353 Mt en 2019 (OCDE, 2023)) et une proportion importante de ces plastiques n'est ni réutilisable ni recyclable (les plastiques recyclés représentent que 6 % des matières plastiques utilisées, (OCDE,2023)).

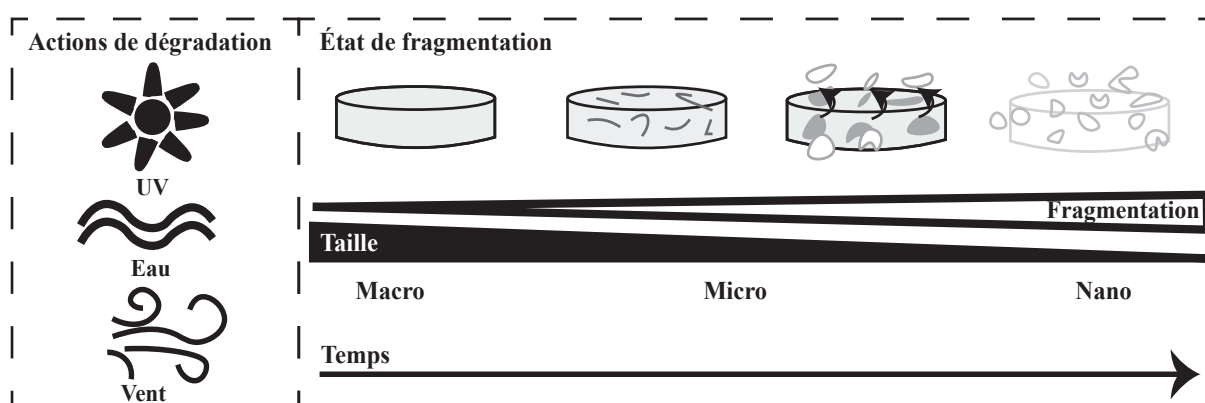
Lorsque les plastiques deviennent invisibles : micro et nanoplastiques

La contamination des milieux naturels apparaît ainsi de plus en plus préoccupante, de par l'impact des plastiques dégradés dans l'environnement, terminant par être quasiment invisibles à l'œil nu, impossible à collecter, puisqu'ils se fragmente pour atteindre des tailles diverses. Dans l'environnement, il est donc possible de rencontrer différentes tailles d'objets plastiques, en commençant par les macroplastiques dont la taille est supérieure à 5 mm. Les macroplastiques sont des objets reconnaissables, avec des tailles variables selon l'objet jeté (par exemple, une bouteille en plastique). On estime qu'entre 4,8 et 12,7 millions de tonnes de déchets macroplastiques sont

⁵⁵ « Dans l'Union, 80 à 85 % des déchets sauvages dans le milieu marin, mesurés sous la forme de comptages de déchets sauvages effectués sur les plages, sont en plastique, les articles en plastique à usage unique représentant 50 % et les articles liés à la pêche 27 % du total » (OCDE, 2023).

déversées dans l'océan chaque année (Jambeck et *al.*, 2015). Bien que les déchets plastiques ne constituent que 10 % de l'ensemble des déchets produits par les activités humaines, leur longévité (pouvant persister dans l'environnement plusieurs siècles, voire peut-être millénaires pour certains matériaux) en fait les types de déchets les plus répandus dans des régions éloignées de leur lieu d'origine (Tramoy et *al.*, 2018).

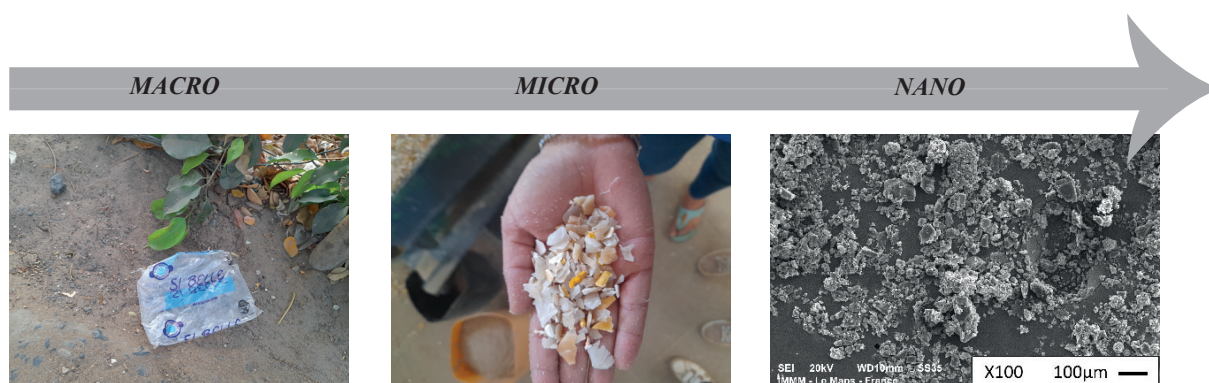
Sous l'action de l'érosion et de la dégradation, favorisée par la lumière et l'oxygène, ces déchets macroplastiques se décomposent en molécules volatiles (Bertier et *al.*, 2025), solubles et en particules. Ces particules sont appelées microplastiques lorsqu'elles mesurent moins de 5 mm (*cf.* figure 6). La dégradation est une somme de phénomènes complexes qui ont des conséquences à différentes échelles du matériau. Dans l'environnement, la dégradation des plastiques les plus courants débute par une modification de leur composition chimique (oxydation) qui entraîne des coupures dans les macromolécules avec formation de monomères ou d'oligomères qui peuvent être volatilisés ou solubilisés selon leur nature. Tout cela fragilise la structure et de façon macroscopique, des fissures apparaissent en surface du matériau qui devient friable. L'érosion de la surface sous l'effet de contraintes mécaniques diverses (actions des vagues, du vent, abrasion, etc.) génère ainsi des fragments de toutes petites tailles. Si le matériau est suffisamment mince il finira même par se fragmenter sur des échelles de temps qui peuvent varier de quelques semaines à plusieurs centaines d'années selon les conditions environnementales auxquelles il est exposé (présence ou absence de lumière, chaleur, oxygène, etc.). Sur toute cette durée, le plastique continue ainsi lentement à libérer des particules qui ne se voient pratiquement plus à l'œil nu mais ne disparaissent pas réellement pour autant. Pour une disparition totale, il faudrait que tous ces sous-produits de dégradation générés puissent être assimilés par les microorganismes couramment rencontrés dans les milieux naturels comme tout autre composé biodégradable. A l'heure actuelle, si certaines études décrivent des biodégradations partielles de plastiques conventionnels (PE, PP) dans l'environnement, elles restent en réalité très limitées et ces plastiques et les fragments qui en résultent sont donc considérés comme persistants dans l'environnement.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, M.GLAIS, IPC, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 6 : Actions de dégradation et fragmentation des plastiques

Pour se rendre compte de la transformation des plastiques, voici illustrer en images les différentes tailles par lesquelles ils passent (*cf.* figure 7) :



© J.PEREZ , ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.
Sources photographiques : J.PEREZ, région de Kaolack, Sénégal, 2022.
Source de l'imagerie MEB de particules plastiques : M.GLAIS, Le Mans, IMMM, 2024.

Figure 7 : Représentation des macro, micro et nanoplastiques

Les microplastiques (MP), particules de plastiques de moins de 5mm, représentent une portion significative des rejets, ils constituent plus de 90 % en nombre du plastique présent dans les océans (Tramoy et *al.*, 2019)- Ils proviennent principalement de l'abrasion des pneus, de la dégradation des marquages routiers, de la perte accidentelle de granulés plastiques (souvent liée à la chute de conteneurs en mer depuis des porte-conteneurs) ainsi que du lavage de fibres textiles synthétiques, mais aussi de la dégradation des macrodéchets.

Les microplastiques se divisent en deux catégories :

- Les microplastiques primaires, aussi nommés granulés plastiques industriels (GPI) ou pellets, qui sont intentionnellement ajoutés par l'industrie, notamment dans des produits ménagers et cosmétiques (par exemple, les microbilles et les paillettes libres). Leur taille varie entre deux et cinq millimètres. Ils devraient diminuer dans les années à venir, car leur utilisation a été interdite en 2023 dans l'Union européenne par la réglementation sur les substances chimiques (REACH). Néanmoins, de nombreux accidents impliquant des conteneurs transportant cette matière première pour les plasturgistes se sont déjà produits et continueront probablement à se produire. D'après la Commission européenne, 265 000 granulés plastiques industriels (GPI) seraient rejetés dans l'océan chaque seconde en Europe. À l'échelle mondiale, l'ONG Surfrider Foundation estime que 230 000 tonnes de ces microbilles se retrouveraient dispersées dans l'environnement⁵⁶. Ces microplastiques industriels, une fois devenus déchets dans l'environnement, sont également connus sous le nom poétique de « larmes des sirènes ». Ils ont été surnommés ainsi par l'Ifremer (Messal, 2014) en raison de leur forme et de leur ressemblance avec les perles naturelles et les débris colorés des plages. Cependant, la pollution plastique qu'ils provoquent est loin d'être poétique. Leur dissémination est rapide sous l'effet des courants marins et des vents, rendant leur récupération extrêmement difficile, ce qui a des répercussions directes sur la faune marine qui peut les ingérer, polluant ainsi la chaîne alimentaire.

56 [https://www.fondationdelamer.org/biodiversite/les-larmes-de-sirene-une-catastrophe-environnementale/#:~:text=Le %208 %20d %C3 %A9cembre %202023 %2C %20large %20du %20nord %20du %20Portugal](https://www.fondationdelamer.org/biodiversite/les-larmes-de-sirene-une-catastrophe-environnementale/#:~:text=Le%208%20d%C3%A9cembre%202023%2C%20large%20du%20nord%20du%20Portugal.). Consulté en juillet 2025

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

- Les microplastiques dits secondaires sont eux générés tout au long du cycle de vie des macroplastiques – depuis la production et la transformation jusqu’à l’utilisation et le recyclage – et finissent par s’échapper dans l’environnement (Faure & Morin, 2019). Leur fragmentation est accélérée non seulement par l’action de micro-organismes, mais aussi par des facteurs environnementaux physiques, telle que la lumière, les rayons UV, la température, l’oxygène et l’eau (*cf.* figure 6). Ces microplastiques, une fois dans les écosystèmes, s’intègrent dans la chaîne trophique, posant un risque pour la santé des organismes et, en fin de compte, celle des humains qui en consomment indirectement. Les scientifiques ont démontré leurs présences (*cf.* encadré 4) dans les sols (Rillig, 2012), les rivières (Lebreton et *al.*, 2017), les lacs (Anderson et *al.*, 2017), les océans (Obbard et *al.*, 2014 ; Law et Thompson, 2014), l’air (Gasperini et *al.*, 2015 ; O’Brien et *al.*, 2023), mais aussi dans les régions les plus reculées de la planète, comme dans la neige et les eaux des cours d’eau du mont Everest (Napper, Daviers, Clifford et *al.*, 2020) et en Arctique (Bergmann, Collard, Fabres, et *al.*, 2022).

En plus des milieux naturels, les microplastiques ont été également retrouvés dans l’eau potable (robinet ou bouteille) (Shim et *al.*, 2021), dans des aliments (Kosuth et *al.*, 2018), dans le système digestif (Hou et *al.*, 2022) et enfin dans le sang (Leslie et *al.*, 2022) et également dans toutes les espèces qui ont été étudiées à cet effet. C’est dire que leur cheminement passe de la terre, notamment des milieux côtiers (Jambeck et *al.*, 2015), aux cours d’eau (Lebreton et *al.*, 2017), jusqu’au milieu marin, par l’action du ruissellement, des vents et de la gravité (Lebreton & Andrady, 2019). Le sol étant un compartiment plus difficile à analyser les données sur l’accumulation des microplastiques dans les sols sont plus récentes mais apparaissent déjà alarmantes (Watteau et *al.*, 2018).

Les microplastiques constituent ainsi des menaces significatives pour les écosystèmes marins et terrestres, ainsi que pour les êtres vivants. Leur dispersion est devenue une problématique mondiale. Selon leur densité, certains coulent, comme les polychlorures de vinyle qui ont une densité supérieure à celle de l’eau, et d’autres restent en surface, comme les polyéthylènes de faible densité (Messal, 2014). Les microplastiques sont ainsi présents depuis les fonds marins jusqu’à la surface des océans, pouvant parcourir des milliers de kilomètres et être vecteurs de contaminations multiples. Les microplastiques absorbent et concentrent en effet des polluants hydrophobes présents en faibles concentrations dans l’eau de mer, ce qui les rend biodisponibles (en raison de leur petite taille, similaire à celle du plancton ou des sédiments, ils peuvent être facilement ingérés par les détritivores, le plancton et organismes filtreurs) pour les organismes marins. Plus de 660 espèces, allant des oiseaux marins aux zooplanctons, sont affectées par ces débris, avec des risques potentiels pour la chaîne alimentaire marine et, par conséquent, pour la santé humaine via la consommation de fruits de mer contaminés (Lebreton & Andrady, 2019). En 2019, environ 6,1 millions de tonnes de plastiques ont été rejetées dans les environnements aquatiques, avec une accumulation estimée à 109 millions de tonnes dans les cours d’eau et 1,7 million de tonnes dans les océans pour cette année-là. Avec la hausse continue de la production des déchets plastiques, les projections indiquent que les stocks de plastiques dans les environnements aquatiques pourraient presque quadrupler d’ici 2060, atteignant 493 millions de tonnes (Lebreton & Andrady, 2019).

Enfin, les particules de plastiques les plus fines sont appelées les nanoplastiques. Il n’existe pas de définition officielle des nanoplastiques et elles sont encore mal comprises par la communauté

scientifique. Leur taille varie de 1 à 100 ou 1 000 nanomètres et est basée sur la taille des nanomatériaux manufacturés utilisés dans la nanotechnologie pour leurs propriétés d'optiques, électriques, thermiques ou mécaniques (Zhang & Hoshino, 2019). Cependant, contrairement aux nanomatériaux manufacturés qui sont intentionnellement produits à des fins commerciales, les nanoplastiques sont eux issus de l'érosion ou de la décomposition de déchets plastiques passants de microplastiques à des particules nanométriques. Leur faible taille préoccupe, car elle rend leur pénétration possible dans les tissus et les organes (Matsson et *al.*, 2015). Il a également été observé que les nanoplastiques présentent une grande diversité, tant sur le plan de leurs caractéristiques physiques que de leur composition chimique. Ils sont ainsi qualifiés de polydispersés (Gigault et *al.*, 2018), ce qui signifie qu'ils varient considérablement en taille et en forme. De plus, ils sont dits hétérogènes en composition (Gigault et *al.*, 2018), car ils proviennent de divers types de plastiques et peuvent contenir des additifs ou contaminants associés. Enfin, dans l'eau, contrairement à certains microplastiques denses, comme le PVC qui ont tendance à couler, les nanoparticules restent en suspension (Gigault et *al.*, 2018). C'est ainsi que Gigault et *al.* (2018) propose la définition suivante des nanoplastiques : « nous définissons les nanoplastiques comme des particules produites non intentionnellement (c'est-à-dire issues de la dégradation et de la fabrication d'objets en plastique) et présentant un comportement colloïdal, dans une plage de taille comprise entre 1 et 1 000 nm⁵⁷ ».

57 Traduit de l'anglais : « We define nanoplastics as particles unintentionally produced (i.e. from the degradation and the manufacturing of the plastic objects) and presenting a colloidal behavior, within the size range from 1 to 1 000 nm. »

Encadré 4 : Les alertes de la communauté scientifique sur la pollution plastique

La pollution plastique et ses effets sont devenus une préoccupation majeure pour la communauté scientifique internationale spécialisée. Bien que ce sujet puisse sembler récent, il n'en est rien : dès 1928 (Gudger, 1928 ; Schwartz, 1963 ; Hünma, 1964), des études ont observé les premiers impacts de l'enchevêtrement des poissons dans des matériaux en caoutchouc ou des élastiques en plastique.

Les découvertes scientifiques récentes, notamment sur les mécanismes de fragmentation des plastiques, les zones touchées par cette pollution, ou encore la contamination de la chaîne alimentaire par ces matériaux, ont considérablement élargi la compréhension de l'ampleur de la crise. Ces avancées, s'inscrivant dans la continuité des premières études, ont eu un impact bien au-delà du milieu académique. Elles ont sensibilisé la société civile à la gravité de la situation. Les médias et les pouvoirs publics se sont emparés de ces recherches pour alerter le grand public, dénonçant les effets néfastes des plastiques sur l'environnement et la santé (OPECST, 2020).

Portée par cette prise de conscience, la production scientifique sur les déchets plastiques n'a cessé de croître, avec une augmentation régulière des publications internationales entre 1980 et 2010 (cf. figure 8). Cependant, depuis 2010, elles ont littéralement explosé, avec une multiplication par cinq du nombre de publications. Autour de 500 en 2010, ce nombre tend vers 2 500, dix ans plus tard (Ledoux, CVT Allenvi, 2020). La tendance des recherches sur les microplastiques est similaire, bien que décalée dans le temps. Entre 1970 et 2010, le nombre de publications est resté constant (moins de 100 par an), mais il a connu une augmentation significative à partir de 2014, suivant une progression exponentielle. Entre 2014 et 2020, le nombre de publications a été multiplié par un facteur 10 (Ledoux, CVT Allenvi, 2020). Cette littérature est tellement abondante que les chercheurs spécialisés disent qu'il est devenu impossible pour quiconque de lire l'ensemble des publications sur le sujet (Blot et al., 2021 ; journées conférences, Groupement de Recherche Plastiques, Environnement, Santé, 2023).

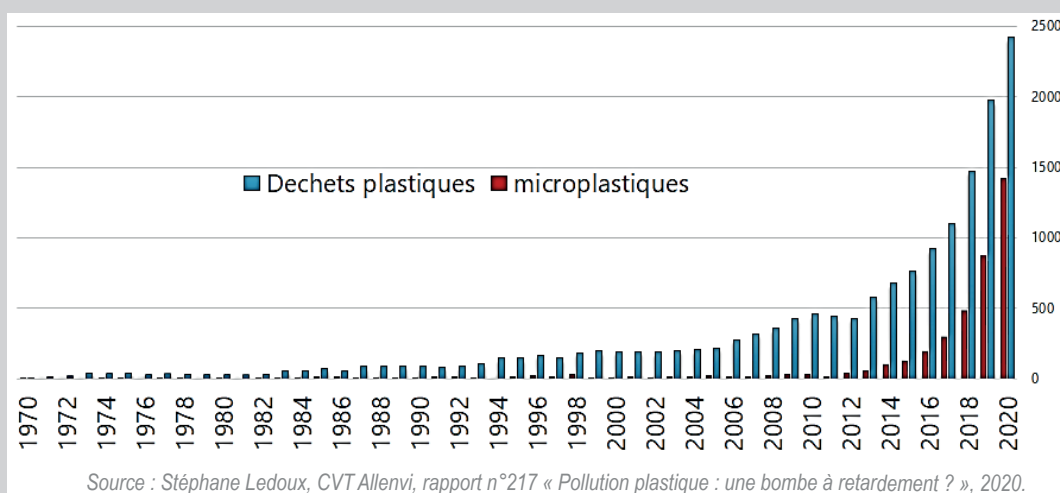


Figure 8 : Évolution des publications internationales sur les plastiques

Malgré la prolifération des études sur la pollution plastique, de nombreux aspects restent encore à explorer, notamment la présence et l'évolution des plastiques dans les sols, ainsi que leurs impacts sur la santé.

Chapitre 1 - De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques

Chapitre 2 : Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

Nous avons pu démontrer dans le chapitre précédent que les plastiques sont devenus essentiels dans le fonctionnement actuel des sociétés, de par leurs vastes gammes de propriétés et de fonctionnalités (légers, faciles à façonner et économiques). Cependant, malgré leurs nombreux avantages, l'usage massif des plastiques dans un modèle économique linéaire (produire, consommer, jeter) a entraîné une accumulation énorme de déchets persistant dans le temps et nocifs pour l'environnement et la santé. Au vu de ce contexte, la question environnementale des plastiques est devenue un sujet politique et économique mis sur le devant de la scène, notamment à travers le déploiement souhaité du concept de l'économie circulaire.

L'économie circulaire telle que définie par le Ministère de la Transition écologique⁵⁸ « consiste à produire des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production des déchets. Il s'agit de passer d'une société du tout jetable à un modèle économique circulaire ». Ce modèle naît en opposition à l'économie linéaire qui se base sur l'extraction des matières premières, leur transformation en produits finis, leur utilisation, puis le rejet des déchets une fois que ces produits ne sont plus utilisables. Ce modèle productif a engendré au cours du temps de nombreuses dégradations de l'environnement par une surconsommation des ressources naturelles, une accumulation de déchets et des émissions significatives de gaz à effet de serre (Bourdin & Torre, 2023).

Si l'économie circulaire a pour but le bouclage des cycles de production, de consommation et de mise au rebut, dans le cas de la gestion des flux plastiques en France, c'est surtout cette dernière étape du cycle, à savoir la gestion des déchets, qui préoccupe le plus les acteurs. Une économie circulaire des plastiques, davantage axée sur le recyclage des déchets plastiques que sur la prévention et la réduction de leur production, sera ainsi décrite dans ce deuxième chapitre.

Le terme Homo circulus est proposé par cette thèse, dans la lignée des deux précédents, « homo plasticus » (Bertolini, 1991) et « homo detritus » (Monsaingeon, 2017). Nous avons choisi de nommer cette période ainsi, au vu du contexte général actuel qui met sur le devant de la scène la nécessité d'aller vers l'économie circulaire des plastiques sans pour le moment poser la question de son effectivité.

Les plastiques dans le viseur des textes législatifs pour une économie circulaire : perspectives européennes et françaises

Des directives européennes jusqu'aux lois françaises, le cadre réglementaire sur les plastiques est tardif, peu contraignant et fortement axé sur la circulation des flux plastiques en fin d'usage. Nous nous intéresserons plus spécifiquement au cas français, où, depuis 2020, la loi AGECE (Anti-Gaspillage et Économie Circulaire) impulse une accélération et une multiplication des mesures, afin de mieux saisir la fin d'usage des plastiques et imposer une gestion plus circulaire. Ces nouvelles mesures commencent

58 <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/leconomie-circulaire>, consulté en mai 2024

doucement à bouleverser le régime sociotechnique en place en favorisant notamment le développement du recyclage et la prévention de certains emballages plastiques à usage unique.

Un cadre européen de plus en plus exigeant

L'économie circulaire s'inscrit dans une démarche visant à repenser la gestion des ressources et des déchets, en opposition au modèle linéaire actuellement à l'œuvre. Au niveau européen, ce concept s'est structuré autour de stratégies favorisant la circularité des matières. L'émergence de l'économie circulaire est indissociable des efforts européens entrepris dès le début des années 2010 avec la création de la Fondation Ellen MacArthur et la publication d'une feuille de route par la Commission européenne en 2011 (Dermine-Brullot & Torre, 2020), qui a donné une orientation stratégique aux États membres, axée sur la réduction des déchets, la réutilisation des matériaux et l'innovation industrielle. Ces initiatives ont ensuite été adoptées et adaptées au contexte national français. En France, l'économie circulaire commence à prendre une place centrale dans les politiques publiques à partir de 2013, avec la création de l'Institut de l'économie circulaire. Cet institut a permis une diffusion rapide du concept auprès des entreprises et des collectivités territoriales. L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) s'est ensuite approprié le sujet, proposant une définition opérationnelle en distinguant « 3 domaines d'action (offre des entreprises, consommation et gestion des déchets) répondant à 7 axes stratégiques qui correspondent à autant de modalités de fonctionnement des entreprises et des particuliers » (Dermine-Brullot & Torre, 2020).

Dans ce cadre, les plastiques ont fait l'objet d'une attention particulière et progressive. Consciente des effets néfastes des plastiques sur l'environnement et la santé humaine, l'Union européenne (UE) réagit en 2015, en introduisant sa première réglementation, la directive (UE) 2015/720 du 29 avril 2015, modifiant la directive 94/62/CE, ciblant spécifiquement la réduction des sacs en plastique, qui figuraient parmi les déchets les plus fréquemment retrouvés dans la nature. Cette directive oblige les États membres à réduire de manière substantielle la consommation de ces sacs sur leur territoire, en adoptant des mesures pouvant inclure des restrictions de mise sur le marché, marquant une avancée inédite dans ce domaine. Dans cette suite logique, la même année, la Commission européenne lance un plan d'action dédié à l'économie circulaire, plaçant les matières plastiques au cœur de ses priorités. Elle annonce son intention de développer une stratégie visant à répondre aux défis posés par les plastiques à chaque étape de leur chaîne de valeur. C'est véritablement en 2018 que tout s'accélère, en adoptant une stratégie dédiée aux matières plastiques dans le cadre de son plan d'action pour l'économie circulaire (Commission Européenne, 2018). En intégrant cette stratégie spécifique, l'UE montre clairement sa volonté de faire des matières plastiques une priorité dans sa transition vers une économie circulaire. Cependant, la stratégie reflète également le parti pris de maintenir une industrie plasturgiste dynamique et compétitive (Dallem, 2024), sans oser contraindre trop largement l'usage de cette matière, au risque de mettre en péril cette activité économique. L'Europe a ainsi développé une série de réglementations, à partir de janvier 2018, fixant un cadre d'action qui vise l'ensemble du cycle de vie des plastiques. Elles reposent sur plusieurs objectifs clés, telles que prévenir les déchets plastiques, interdire les produits en plastique à usage unique, renforcer les infrastructures pour la collecte et le tri des déchets plastiques, augmenter leur taux de recyclage, apposer des règles de mesure du contenu recyclé dans les produits, limiter la libération de microplastiques dans l'environnement par l'amélioration des produits de consommation et des processus industriels, mais aussi en réglementant les engins de pêche, l'étiquetage et l'utilisation de plastiques d'origine biologique, etc. La stratégie vise également à promouvoir la

sensibilisation du public et l'éducation concernant les impacts des plastiques sur l'environnement et les moyens de réduire leur utilisation, tout en soutenant la recherche sur les solutions alternatives aux plastiques et le recyclage.

Dans cette optique, l'Europe met un accent particulier sur le renforcement du recours aux plastiques recyclés, afin de combler leur déficit de compétitivité par rapport aux plastiques vierges. La Commission invite l'industrie et les acteurs publics à s'engager activement dans cette direction, pour stimuler les investissements dans les infrastructures de recyclage. Elle annonce réfléchir à des mesures spécifiques dans le cadre des révisions de certaines directives clés, telles que celles relatives aux emballages, aux produits de construction et aux véhicules hors d'usage (Dallem, 2024).

Au-delà de la place des plastiques dans la politique globale d'économie circulaire, quelques règles européennes ciblent plus directement certains produits. C'est le cas de la directive 2019/904 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement (ou directive SUP – *Single Use Plastics* – Plastiques à usage unique), adoptée en 2019. Elle élève la lutte contre la pollution plastique au rang de priorité européenne, visant les dix produits les plus fréquemment présents dans l'environnement. Elle instaure ainsi des restrictions concernant la mise sur le marché de certains articles en plastique à usage unique, tel que les couverts, assiettes, Cotons-Tiges, pailles, gobelets et contenants alimentaires « dès lors que des alternatives existent ». Si le projet est ambitieux, cette petite phrase offre une porte de sortie moins contraignante pour ne pas remettre en question trop en profondeur le modèle économique-consommateur actuel (comme le font la plupart des réglementations environnementales). Par ailleurs, l'utilisation de plastiques oxo-dégradables et oxo-biodégradables⁵⁹ est strictement interdite⁶⁰. La directive met aussi l'accent sur les bouteilles en plastique en introduisant des mesures d'écoconception, notamment l'obligation d'utiliser des bouchons attachés à la bouteille pendant toute sa durée d'utilisation afin d'éviter leur perte dans l'environnement, ainsi que l'intégration de matières recyclées dans leur fabrication. Ainsi, pour les bouteilles en PET, au moins 25 % de plastique recyclé doit être incorporé dans les bouteilles neuves dès 2025 ; cette exigence s'étendra à 30 % pour toutes les bouteilles en plastique d'ici 2030. Par ailleurs, la directive fixe des objectifs ambitieux de collecte séparée, visant 77 % des bouteilles plastiques d'ici 2025 et 90 % d'ici 2029.

Afin d'appliquer la directive SUP, en 2021, l'Union européenne renforce ses dispositions sur les emballages plastiques en instaurant la « Taxe plastique ». Celle-ci impose aux États membres de reverser au budget européen une taxe, à hauteur de 80 centimes par kilogramme (soit 800 €/tonne) d'emballages plastiques mis sur le marché et non recyclé. « La faible performance de la France en fait en 2023 le premier contributeur en Europe, soit 1,5 milliard d'euros. Depuis la mise en place de la « Taxe plastique », la France a déboursé 4 milliards d'euros en pénalités » (Eisenberg, 2024). Cependant, si la France est bien le premier pays contributeur en valeur absolue, elle n'arrive qu'en quatrième position en valeur relative, une fois le montant rapporté au nombre d'habitants. En effet, « la France (21,90 €/habitant) est en quatrième position

59 Les plastiques oxo-dégradables et oxo-biodégradables sont « des plastiques traditionnels auxquels on a ajouté des additifs qui contiennent des métaux de transition, tel le cobalt, le manganèse ou le fer. Ces additifs provoquent la fragmentation des plastiques par oxydation chimique » (Lapointe, 2012), générant des microplastiques (Directive 2019/904, Art. 3, 3).

60 À noter que « que le marché mondial des matériaux « oxo-biodégradables » est profondément fragmenté où, par exemple, les pays de l'UE ont interdit ces matériaux, tandis que, dans des pays comme l'UEA, le Pakistan, l'Iran, le Maroc, le Yémen et la RD Congo il est interdit d'utiliser certains produits, comme les sacs et emballages plastiques s'ils ne sont pas oxo-biodégradables. » (NF EN 17615, 2022)

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

derrière l'Irlande (40,61 €), la Suède (23,12 €) et le Danemark (22,81 €), sensiblement au-dessus de la moyenne européenne (15,89 €) » (Déchets Infos n° 284, 2024).

Le renforcement normatif européen sur les emballages plastiques continus en 2022, date où la Commission a présenté un projet de règlement sur les emballages et leurs déchets, destiné à remplacer la directive n° 94/62/CE (précédemment amendée par la directive sur les sacs plastiques). Ce projet s'inspire de mesures françaises de la Loi Agec de 2020 en établissant une feuille de route pour réduire les déchets d'emballages et prévoir des restrictions sur l'utilisation de certains types d'emballages plastiques, tels que le suremballage des fruits et légumes frais non transformés, la vaisselle jetable dans les restaurants proposant de la consommation sur place, ou encore les films utilisés pour regrouper les produits en point de vente. Le projet impose que tous les emballages soient recyclables d'ici 2030 et recyclés à grande échelle d'ici 2035, tout en fixant des seuils minimaux de matières recyclées dans les emballages plastiques.

Enfin, l'UE prépare d'autres projets de règlements sur les microplastiques (règlement REACH), les granulés de plastiques industriels, les plastiques biosourcés, biodégradables et compostables, les exportations de déchets plastiques, etc. Ce bilan des mesures mises en place par l'Union européenne en moins de 10 ans reflète une forte dynamique sur les plastiques, sur leur prévention comme leur recyclage.

La France : un volontarisme périodique

Les directives européennes sont des règles fixées par l'UE, qui doivent être mises en œuvre par chacun de ses États membres. Chaque pays a alors la responsabilité de transformer ces directives en lois nationales, adaptées à son propre cadre juridique. Ainsi, bien que les directives établissent des objectifs communs, les lois qui en résultent peuvent varier d'un pays à l'autre en fonction de la manière dont elles sont interprétées et intégrées dans le droit national. En France, suite aux directives européennes (*cf.* figure 9), plusieurs lois ont été adoptées encadrant la gestion des déchets plastiques et encourageant une transition vers l'économie circulaire.

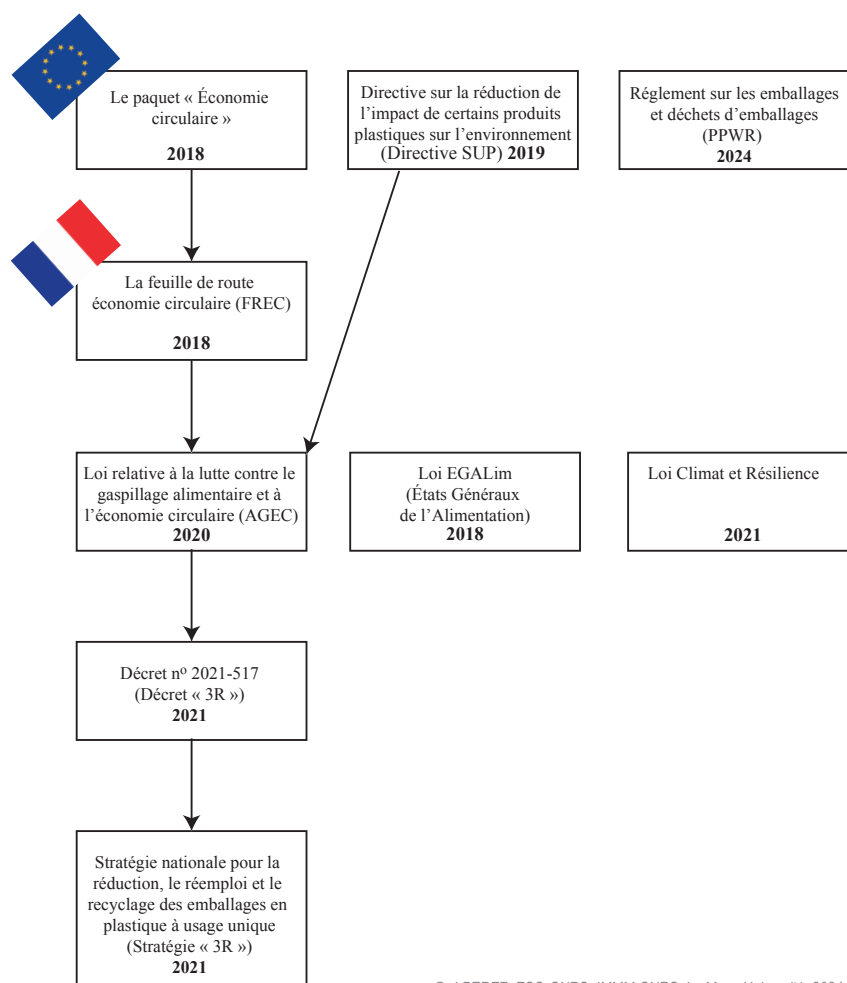


Figure 9 : Directives européennes et lois françaises sur les plastiques

En avril 2018, le Premier ministre français a dévoilé la feuille de route pour l'Économie circulaire (FREC), visant à réduire la consommation de ressources, la production de déchets et à favoriser la création d'emplois. Ces objectifs ont ensuite été intégrés dans un projet de loi, adopté par l'Assemblée nationale et promulgué en février 2020, la loi AGEC (Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire). Ainsi, pour la première fois, on voit apparaître un éventail successif de textes réglementaires sur les plastiques en France, marquant l'émergence de stratégies institutionnelles visant leur circularité.

Parmi elles, on retrouve également la loi EGALim (États Généraux de l'Alimentation) adoptée en 2018, elle vise notamment à réduire l'usage des plastiques dans les secteurs de l'agroalimentaire, en limitant les emballages plastiques dans les produits alimentaires et en renforçant les exigences en matière de recyclabilité des emballages. La loi la plus marquante, la loi AGEC n° 2020-105 du 10 février 2020, relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, s'inscrit dans le cadre de la transposition du paquet européen sur l'économie circulaire. Elle est « constituée de 130 articles, propose de nombreuses mesures permettant d'engager la transition vers l'économie circulaire, répartis en cinq axes majeurs : mieux produire, mieux informer les consommateurs, sortir du plastique jetable, lutter contre le gaspillage et pour le réemploi, et agir contre l'obsolescence programmée » (Mission d'information, 2024). Cette loi prévoit, entre autres, l'interdiction de la commercialisation

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

des emballages plastiques à usage unique d'ici 2040, ainsi qu'un objectif de réemploi des emballages fixé à 10 % d'ici 2027. Elle impose également la suppression des emballages, couverts, assiettes et autres produits à usage unique pour tous les repas consommés sur place dans les secteurs de la restauration rapide, des cantines scolaires, de la restauration collective en entreprise, et des cafétérias de musées accueillant au moins vingt personnes, dès le 1er janvier 2023. En complément, le décret n° 2021-517 du 29 avril 2021, dit «décret 3R», fixe des objectifs de réduction, de réemploi et de recyclage des emballages plastiques à usage unique pour la période 2021-2025. De ce décret 3R découle une stratégie « 3R » qui « vise à contribuer directement à la réalisation des objectifs fixés par le décret » (Ministère de la Transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, 2025). Ce décret établit un objectif global de réduction de 20 % en tonnage des emballages plastiques à usage unique pour tous les metteurs sur le marché d'ici le 31 décembre 2025, par rapport à 2018, dont au moins 50 % grâce au réemploi. Concernant les bouteilles en plastique, la législation vise une réduction de 50 % de leur mise en marché d'ici 2030 par rapport à 2018, ce qui représente plus de 6 milliards de bouteilles. Elle fixe aussi un objectif ambitieux de parvenir à un taux de recyclage de 100 % du plastique d'ici le 1er janvier 2025. Enfin, elle crée de nouvelles filières REP (Responsabilité Élargie du Producteur - mécanisme permettant de rendre rentable l'activité économique du recyclage) dans lesquelles différents déchets plastiques sont concernés, ainsi que l'extension de celles qui existaient déjà. Cette mesure a entraîné un doublement du nombre de ces filières (*cf.* chapitres suivants).

Bien que la loi Agec soit considérée comme un élément structurant pour les acteurs de la filière plastique⁶¹, en favorisant leur engagement dans la transition de cette filière vers l'économie circulaire des plastiques, force est de constater que plusieurs dispositions sont « peu appliquées, voire pas du tout appliquées, ne font pas l'objet de mesures de suivi ou de contrôle, ou se heurtent à divers blocages, que ce soit à l'échelle locale, nationale ou européenne » (Mission d'information, 2024). C'est ainsi que l'objectif de 100 % de recyclage plastique est issu d'un discours politique du président de la République, mais est impossible à appliquer si on le prend au pied de la lettre (puisque'il est impossible de collecter 100 % des plastiques et puisque les majorités des plastiques collectés ne sont pas recyclables (*cf.* section suivante)). Les professionnels du secteur prennent donc ce chiffre comme un horizon et non comme un objectif strict. La mise en place des nouvelles filières REP de recyclage (sur les déchets de la construction, les jouets, les articles de sport et loisirs, de bricolage, etc.) a été marquée par des retards et n'ont pour la plupart pas encore atteint les objectifs fixés. De plus, si les enjeux de l'économie circulaire ont été introduits par cette loi auprès des acteurs de la filière, le focus reste principalement centré sur le tri, la collecte et le recyclage des déchets plastiques. En revanche, dans les faits, des aspects comme la prévention des déchets, l'écoconception, et le réemploi sont restés secondaires, malgré la hiérarchie des modes de traitement des déchets qui privilégie ces derniers sur le recyclage. Si la loi a permis des investissements en direction des modes de production circulaires (par exemple, le développement de la vaisselle réemployable dans le secteur de la restauration rapide), elle n'a pas encore favorisé une transition suffisante vers des pratiques généralisées d'interdiction, de réduction, de réutilisation et de réemploi des plastiques.

61 Entretiens avec des directeur-es, chargé-es de mission et ingénieur-es, acteurs du secteur, depuis les représentants des producteurs de plastiques jusqu'aux recycleurs de matières plastiques, entre 2022 et 2024.

Enfin, la loi Climat et Résilience, promulguée en 2021, renforce certaines thématiques de la loi Agec, « telles que l’affichage environnemental, la vente en vrac, la commande publique, ou l’utilisation de pièces détachées » (Mission d’information, 2024), permettant de la rendre opérationnelle. À l’inverse, la loi de 2021 vient amoindrir certains effets, car « elle reporte aussi des échéances programmées initialement dans la loi Agec, notamment pour la mise en place de l’observatoire national du réemploi et de la réutilisation ou de la filière REP des emballages de restauration. » (Mission d’information, 2024) ». Cette loi, vient aussi préciser qu’à compter du 1^{er} janvier 2025, les emballages constitués pour tout ou partie de polymères ou de copolymères styréniques⁶², non recyclables et ne pouvant intégrer une filière de recyclage, seront interdits (Climat et Résilience, chapitre III, article 23). Cet article important pourra concerner des articles tels que des barquettes, pots de yaourt, des couvercles à verre jetables, couverts, bâtonnets mélangeurs pour boissons, contenants ou récipients. Ce dispositif pousse les acteurs producteurs et utilisateurs de ces résines à se mettre en conformité, notamment car il n’existe pas encore de filière de recyclage créée sur un grand nombre de ces matières.

Ces différentes législations font de la France l’un des pays les plus ambitieux en matière de lutte contre la pollution plastique et de promotion de l’économie circulaire des plastiques. Elle s’est fixé des objectifs plus élevés que ceux imposés par l’Europe. Toutefois, un grand nombre d’entre eux semblent aujourd’hui difficiles à atteindre, venant finalement interroger leur pertinence, puisque s’ils ne sont pas réalistes, ils resteront sans effet - puisque leur non atteinte n’engendre généralement aucune sanction.

En conclusion, il existe une forte impulsion politique et réglementaire visant à circulariser les flux plastiques, avec de nombreuses mesures orientées vers l’amélioration et le développement du recyclage, ainsi que vers l’interdiction progressive de certains emballages plastiques à usage unique. Cette volonté de transformation se heurte néanmoins à une logique de régulation fragmentée, que Manglou (2024) décrit comme opérant « selon une forme de fétichisme : sont concernés certains sacs en plastique, certains couverts, assiettes, gobelets, touillettes, coton-tiges, discriminés selon leur composition (avec une tolérance temporaire pour les plastiques dits compostables, par exemple) et leur contexte d’emploi ».

À travers cette nouvelle politique, il semble pourtant que les acteurs publics cherchent enfin à véritablement s’approprier cette matière, à la comprendre dans sa globalité afin d’en gérer et canaliser les flux de manière plus efficace. Bien que le concept d’économie circulaire ait gagné en importance ces dernières années, il reste souvent perçu comme « une idée et un idéal » dont « sa mise en œuvre réelle est limitée et fragile » (Gregson *et al.*, 2015).

Les plastiques écologiques et circulaires : une véritable solution ?

Parallèlement aux évolutions réglementaires sur les plastiques, des alternatives aux plastiques conventionnels pétrosourcés émergent progressivement. Des matériaux qualifiés de biosourcés, biodégradables ou recyclables arrivent sur marché et suscitent un intérêt croissant, dans une optique de réduction de l’impact écologique des plastiques traditionnels. Ces plastiques de nouvelle génération amorceront-ils une transition vers une économie plus circulaire ?

62 Les copolymères styréniques sont des matériaux polymères obtenus par copolymérisation du styrène avec un ou plusieurs autres monomères tels que l’acrylonitrile, l’anhydride maléique ou le butadiène (Heim *et al.*, 2017).

Quatrième génération : les plastiques écologiques

La quatrième génération, développée à partir des années 1990, est celle des plastiques qualifiés par leurs fabricants d'écologiques, également appelés plastiques « verts » ou bioplastiques. Ce sont des plastiques définis comme biodégradables, biosourcés, compostables ou recyclés (*cf.* tableau 4), bien que l'usage de ces termes comporte un certain nombre de limites, qui seront clarifiées par la suite. Cette génération a pour objectif d'apporter des alternatives aux plastiques traditionnels dont les impacts environnementaux négatifs sont de mieux en mieux identifiés (Cousin *et al.*, 2025) à la fois en termes de contamination des écosystèmes liée à la présence persistante des plastiques, comme à l'épuisement progressif des hydrocarbures fossiles étant à la source des plastiques.

Il existe plusieurs voies possibles pour obtenir des polymères, même si la source principale reste encore aujourd'hui le pétrole et de façon secondaire le gaz naturel et le charbon (Duval, 2009). La biomasse est toutefois une source de production croissante de plastiques, ayant des qualités parfois jugées de plus écologiques (malgré certaines limites sur lesquelles nous reviendrons). Il s'agit des plastiques appelés biosourcés, issus de la biomasse, c'est-à-dire des matières organiques composant le monde vivant, notamment végétal : le bois, les algues, le maïs, etc. L'avantage majeur de la biomasse réside dans sa capacité à se régénérer, à condition que les ressources soient gérées de manière durable (Duval, 2009). La production de plastiques biosourcés reste à ce jour limitée, constituant moins de 1 % de la production mondiale de plastique⁶³. En raison de leur faible volume de production et d'un coût qui reste élevé, ces plastiques sont également moins explorés par les chercheurs et les industriels, même si, pour certains, ils sont connus et industrialisés depuis le 19^e siècle (Altman, 2021).

Au-delà des modes de production précédemment identifiés, un travail est effectué sur la façon dont les plastiques se comportent une fois rejetés (notamment dans l'environnement), afin d'essayer d'en limiter les impacts de contamination. C'est ainsi que les polymères biodégradables font l'objet d'un intérêt plus marqué depuis les années 1990 (Duval, 2009). Contrairement aux plastiques traditionnels, qui peuvent persister pendant des siècles, les plastiques biodégradables sont (en théorie) conçus pour se décomposer naturellement, dans un environnement plus ou moins naturel, grâce à l'action de micro-organismes. Ils peuvent avoir les mêmes propriétés que certains plastiques conventionnels durant leur usage, mais ils ont la capacité à se dégrader plus rapidement après usage, par l'action de divers stimuli biologiques, comme les bactéries, les champignons, les algues et les enzymes (Duval, 2009). Parmi les plastiques biodégradables les plus connus, on trouve l'acide polylactique (PLA) et le polyhydroxyalkanoate (PHA). Le PLA, fabriqué à partir de maïs ou d'autres cultures riches en amidon, est utilisé pour des emballages alimentaires, des sacs et des gobelets. Le PHA est produit par des bactéries à partir de matières organiques et est utilisé dans des applications allant des emballages aux dispositifs médicaux. Les polymères biodégradables peuvent être d'origine fossile ou issus de ressources renouvelables. Si, de prime abord, ce type de plastique peut paraître intéressant, il faut savoir que le label « biodégradable » sur des objets est maintenant interdit en Europe (Ghiglione, 2025). Tous les plastiques biodégradables ne se dégradent pas tous à la même vitesse dans l'environnement et même certains n'ont montré aucun signe de biodégradation après plusieurs années dans le milieu naturel (Ghiglione & Dignac, 2024). Les additifs incorporés dans ces plastiques peuvent freiner le processus de biodégradation. De plus, tous les plastiques biodégradables ne sont pas forcément des

63 <https://www.citeo.com/le-mag/emballages-en-plastiques-biosources-et-compostables-est-ce-la-solution>, consulté en juin 2025

plastiques compostables (Ademe, 2016). Aujourd'hui, une seule norme - la norme européenne EN NF 13432 - encadre les critères de compostabilité et de biodégradabilité. Elle s'applique uniquement aux emballages et au compostage industriel, dans des conditions bien différentes de celles du compostage domestique ou du milieu naturel. Par ailleurs, il n'existe pas encore de filières matures pour le compostage industriel des plastiques.

En plus de ces deux premières catégories - les plastiques biosourcés et les plastiques biodégradables-, une troisième catégorie, celle des bioplastiques englobe l'ensemble des plastiques biosourcés, biodégradables, ou à la fois biosourcés et biodégradables. Cependant, ce terme « est de moins en moins utilisé, car il est fallacieux et suggère qu'un polymère biosourcé est écologique » (Ghiglione & Dignac, 2024).

Le recyclage des plastiques est une autre approche essentielle de la quatrième génération. Les plastiques recyclés sont issus de matériaux plastiques usagés qui sont collectés, triés, nettoyés et transformés en nouveaux produits. Cette valorisation matière a pour objectif de réduire l'utilisation de matières premières vierges et diminue les déchets plastiques mis en décharge ou incinérés. Les plastiques recyclés peuvent être réincorporés dans une variété d'applications (*cf.* encadré 5), allant des vêtements et des tapis à des pièces automobiles, de bâtiments et des emballages. Cependant, tous les plastiques ne sont pas recyclables et toutes les filières de recyclage ne sont pas développées, comme cela sera largement explicité dans les chapitres suivants. Une approche d'écoconception serait également nécessaire de façon à ne produire que des plastiques recyclables (facilement), ce qui n'est pas le cas actuellement.

Encadré 5 : Quand le déchet alimente le déchet

Texte publié dans le vu/portefolio de la revue Urbanités : Gouchon M., Joxe S., Perez J., Régeard N. et Tixadou S., (coord.), 2025, « Portfolio : La mise en image des déchets dans la ville : objets et matières (partie 1) », Urbanités, Vu, 2025.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Rennes, 2023.

Photographie 4 : Indication de plastique recyclé sur une bouteille de soda

Quand le déchet alimente le déchet : le cas du contenant en plastique à usage unique fabriqué à partir de plastique recyclé (Perez, 2025)

À la sortie de trois journées de colloque du GDR Plastiques, Environnement, Santé de juin 2023, je me presse à la gare de Rennes pour rentrer chez moi. Mon cerveau est encore empreint des informations assimilées de ces journées, sur les multiples impacts environnementaux et sociaux associés aux déchets plastiques.

J'ai couru pour ne pas rater mon train, assoiffée, je recherche désespérément un dispositif pour remplir ma gourde, rien à l'horizon... je me dirige donc vers une boutique pour acheter un sandwich et honteuse j'ajoute un soda dans une bouteille en plastique à usage unique ! Dans la précipitation et le confort instantané, j'ai choisi la voie de la facilité. L'inscription sur son bouchon retient toute mon attention ; la bouteille est composée de 30 % de plastiques recyclés. Une bouteille qui après quelques minutes au mieux quelques heures d'utilisation, sera jetée à nouveau. Du Polyéthylène téréphtalate (PET) recyclé et du PET vierge à peine mélangés pour fabriquer cette bouteille, qu'ils sont déjà prêts à entamer un nouveau cycle de recyclage. Le recyclage qui, au mieux, réduira l'impact environnemental, mais ne le supprimera jamais totalement.

Je prends place dans le train, le soda en main, et je ne peux m'empêcher de réfléchir à l'ironie de la situation. Cette bouteille que je viens d'acheter est déjà destinée à devenir un déchet à nouveau, un cercle vicieux où le déchet alimente le déchet. Ce système qui, en se vantant d'utiliser du plastique recyclé, ne fait que perpétuer la production de plastique. Même si la bouteille est composée de 30 % de plastique recyclé, les 70 % restants sont du plastique vierge, provenant de la pétrochimie, et donc de l'extraction de nouvelles ressources fossiles. Chaque cycle de recyclage dégrade un peu plus la qualité du plastique, nécessitant l'ajout de plastique vierge pour maintenir les propriétés du produit final. En somme, ce que l'on nous vend comme une solution écologique est en réalité un mécanisme de maintien du statu quo.

Si ces nouvelles approches de production de plastiques visent à développer la biodégradabilité, les sources renouvelables et la circularité des matériaux, des améliorations sont encore à fournir. La transition vers des plastiques qualifiés d'écologiques n'en est encore qu'à ses prémices. Les plastiques biodégradables nécessitent

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

des conditions spécifiques pour se décomposer efficacement, relevant très souvent plutôt d'un compostage industriel que d'une dégradation naturelle (Citeo, 2019). Les plastiques biosourcés, bien qu'ils réduisent la dépendance aux ressources fossiles, peuvent souffrir des mêmes impacts environnementaux que l'agriculture intensive (matériel agricole, engrais, pesticides, etc. - Duval, 2009). Le recyclage, bien qu'essentiel, est limité par des taux de collecte limités, un tri partiel, des processus de transformation opérant uniquement sur quelques résines bien identifiées, et une absence d'écoconception à cette fin (*cf.* chapitres suivants).

4 ^e génération : les plastiques écologiques	
Matériau	Producteur(s)
Bio-Caprolactone	Ingevity UK Ltd,
Bio-PA	Arkema, Evonik, BIO-FED, DuPont, FKUR Kunststoff, Addiplast
Bio-PE	FKUR Kunststoff, LyondellBasell/Neste,
Bio-PET	FKUR Kunststoff, Mosca GmbH, Roquette
Bio-PP	LyondellBasell/Neste, Mosca GmbH,
Bio-TPE	API, DuPont, Hexpol TPE
Bio-TPU	API, Roquette, Covestro
Bio-TPC	DSM
Bio-PEBA	Arkema
PEF	Avantium, Synvina,
Bio-PC	Sabic
Cellulosiques (CA, CAP)	Eastman, Rotuba, Albis
Mélanges d'amidon	Agrana Stärke, BIOTEC, Indochine Bio Plastiques, Novamont, Roquette, Tecnaro, Vegeplast
PBAT	BASF, BIO-FED, Jinhui Zhaolong High Tech, Toro Gips S.L., Xinjiang Blue Ridge Tunhe Polyester
PBS	BIO-FED, DSM, Mitsubishi Chemical Europe, PTT, Reverdia, Roquette, Sinopec, Sirim Berhad, Xinjiang Blue Ridge Tunhe Polyester
PHA	BIO-FED, Bio-on, CheilJedang Bio, Cristal Union, Danimer Scientific, Kaneka Corporation, Moore Capital, Shandong Ecomann Technology, TianAn Biologic Materials, Tianjin GreenBio Materials, Yield10 Bioscience
PLA	BASF, BIO-FED, BIOTEC, Braskem, Carbiolice, Cofco, Danimer Scientific, Evonik, FKUR Kunststoff, Galactic, Mosca GmbH, NatureWorks, PTT, Sulzer Chemtech, Synbra Technology, Teijin, Toro Gips S.L., Total Corbion PLA, Uhde Inventa-Fischer, Zhejiang Hisun-Gruppe
Polyesters biodégradables	API, BASF, Carbiolice, Ingevity UK Ltd, Kureha, Kaneka Corp., Novamont, Roquette, Shanxi Jinhui Energy Group Limited, TIPA Corp
PTT	DuPont
Base caséine	Lactipcs

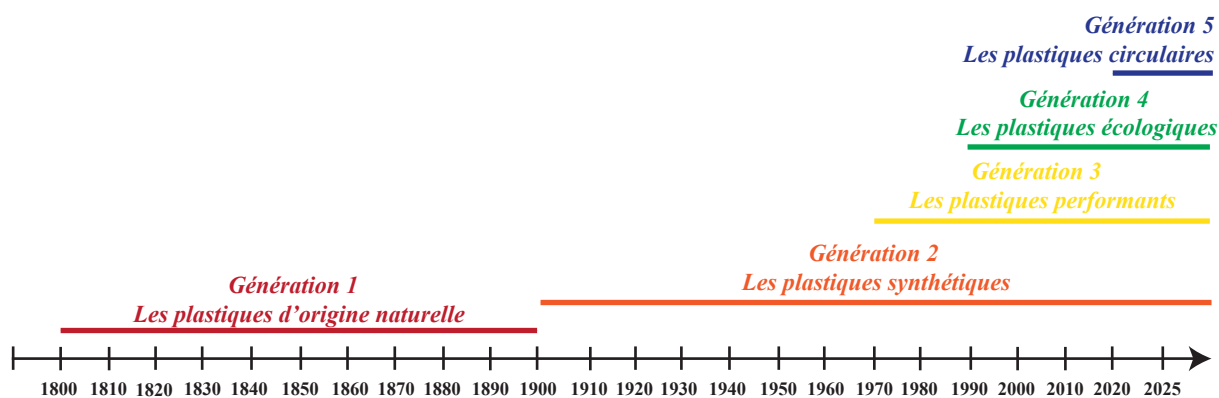
Source : Polyvia, *Bioplastiques : état des lieux de la production mondiale, 2020*⁶⁴

Tableau 4 : La quatrième génération de plastiques : les plastiques écologiques du XXI^e siècle

64 <https://www.polyvia.fr/fr/economie-circulaire/bioplastiques-production-mondiale> consulté en juillet 2025

Aura-t-on besoin d'une cinquième génération ?

Au-delà des enjeux de production écologique des plastiques (biosourcés et biodégradables), il est possible, d'après le cadre réglementaire récent et les discours d'acteurs (détaillés dans les chapitres suivants), de se projeter dans une future génération (*cf.* figure 10) qui ne chercherait même plus à produire des plastiques écologiques (à partir de matières premières vierges – renouvelables ou non), mais qui ne chercherait qu'à faire fonctionner la société en s'appuyant sur les gisements de matières premières de récupération. Ce modèle, centré sur une économie circulaire du plastique (s'appuyant notamment sur l'écoconception, le réemploi et le recyclage, pourrait constituer une cinquième génération). Cette génération poursuit les objectifs environnementaux de la quatrième, en limitant l'usage des plastiques non essentiels et interdits à la commercialisation, et en se focalisant sur le caractère réemployable, réutilisable et recyclable des plastiques restants. Les réflexions, les mesures réglementaires et les changements de pratiques commencent simplement à émerger en France (tout comme en Europe et dans le monde), depuis la loi Agec de 2020 (liée à un cadre réglementaire européen). Alors que la quatrième génération se concentrait sur la réduction des impacts environnementaux en favorisant les plastiques biodégradables et biosourcés, la cinquième génération met l'accent sur une approche qui serait plus circulaire de la production à la fin d'usage. Ainsi, cette génération suivrait de façon plus rigoureuse la règle des 3R Réduire, Réutiliser, Recycler. Si la réalité d'une telle génération n'est pas encore à l'œuvre, la suite de la thèse analysera le potentiel de son émergence. Nous chercherons à déterminer si cette vision d'une économie circulaire pour les plastiques se traduit effectivement en pratiques et solutions tangibles, ou si elle reste une ambition encore éloignée de la réalité.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 10 : Frise chronologique des générations de plastiques

Les déchets plastiques qui résistent au recyclage

En France, le recyclage de l'ensemble des déchets est réglementé depuis plus de 40 ans et est défini par l'article L. 541-1-1 du code de l'environnement comme « toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage ». Concernant les déchets plastiques, que ce soit en Europe ou en France, plus de 99 %

de leur recyclage l'a été par voie mécanique (Ademe, 2022). Le principe du recyclage mécanique repose sur la transformation physique des polymères (par broyage, micronisation et granulation), sans intervention chimique majeure, ce qui permet de conserver les propriétés essentielles des matériaux plastiques d'origine. Une fois collectés, les déchets passent par une phase de tri qui vise à séparer les différentes catégories de plastiques en fonction de leur nature (PET, PE, PP, etc.). Ce tri est essentiel pour garantir une qualité optimale des produits recyclés, avant de les envoyer vers les industriels recycleurs spécialisés par catégorie de résine. Après un lavage visant à éliminer les impuretés, les plastiques sont broyés en petits morceaux (appelés paillettes⁶⁵) avant d'être refondus et extrudés sous forme de granulés prêts à être réincorporés dans de nouveaux processus de production. Les 1 % seront recyclés par une technologie émergente et encore difficilement maîtrisée, celle du recyclage chimique (*cf.* encadré 6).

Le recyclage des plastiques vise principalement à maintenir la valeur (économique et matérielle) des polymères déjà intégrés dans la chaîne de production. Cette approche permet non seulement de prolonger la durée de vie des matériaux, mais aussi de réaliser d'importantes économies sur les coûts énergétiques et financiers liés à la production de nouveaux plastiques à partir de matières premières vierges, comme le pétrole brut. Dans le cas du recyclage mécanique, les étapes du raffinage, de la polymérisation et de la formulation sont complètement évitées. Cela permet de réduire considérablement la consommation d'énergie, puisqu'il n'est plus nécessaire de repartir de la matière première fossile pour produire des polymères.

L'élimination du processus de polymérisation lors du recyclage mécanique présente également d'autres bénéfices environnementaux. Non seulement cela réduit la dépendance à l'égard des combustibles fossiles, mais cela diminue également la pollution associée à l'extraction, au raffinage et à la transformation du pétrole. Ces étapes industrielles sont non seulement énergivores, mais aussi responsables d'une part importante des émissions de gaz à effet de serre et de la pollution de l'air (Ellen MacArthur Foundation, 2016 ; AIE, 2018). Si les vertus écologiques du recyclage sont établies, il n'en reste tout de même pas moins que le recyclage consomme tout de même de l'énergie, de l'eau et émet tout de même des gaz à effet de serre. La mesure ayant l'impact environnemental le plus marqué reste l'arrêt de la production de plastique (et donc la réduction des déchets). Il est donc important de noter que le processus de recyclage mécanique n'est pas exempt de limites.

La dégradation des plastiques par le recyclage

L'un des principaux obstacles du recyclage mécanique est la dégradation progressive des plastiques au fil des cycles de recyclage. En effet, chaque fois qu'un plastique est recyclé, la structure de ses chaînes polymères s'affaiblit et perd ses propriétés initiales. Ce phénomène, connu sous le nom de « dégradation thermique » (American Chemical Society, 2019), provoque la rupture des liaisons moléculaires dans les chaînes de polymères, réduisant ainsi la qualité du matériau recyclé. Plus un plastique est soumis à ce processus, plus ses propriétés mécaniques et chimiques se détériorent, limitant le nombre de fois où il peut être recyclé efficacement avant de devenir inutilisable pour de nouvelles applications. C'est pour cette raison que le recyclage du plastique tend à produire des matériaux de moins bonne qualité, allant vers des usages dégradés, passant par exemple de l'emballage alimentaire vers la production automobile, puis à la construction d'isolants thermiques pour le bâtiment ou pour les vêtements. La

65 Une paillette est définie comme le « rebroyé de forme aplatie » (NF EN ISO 472, 2013)

plupart des plastiques ne peuvent être recyclés que trois à cinq fois avant que leur structure ne soit trop altérée pour un usage ultérieur (Ellen MacArthur Foundation, 2016).

Les additifs : un obstacle à la valorisation des plastiques

Un autre défi majeur du recyclage mécanique est l'incapacité à éliminer efficacement les additifs et autres contaminants présents dans les déchets, comme des résidus alimentaires, des produits chimiques ou des métaux lourds (Outters & De Miguel, coord., 2020).

Rappelons-le, les additifs plastiques sont nombreux et variés : plastifiants, stabilisants thermiques ou UV, retardateurs de flamme, ou encore colorants. Leur fonction est d'adapter le matériau aux contraintes spécifiques de son application. Toutefois, ces additifs ne sont généralement pas chimiquement liés au polymère, ce qui les rend susceptibles de migrer ou d'être libérés par lixiviation, abrasion ou volatilisation, dès la phase d'utilisation ou lors des opérations de traitement des déchets plastiques (Wagner & Schlummer, 2020).

Lors du recyclage mécanique, les plastiques collectés subissent un prétraitement (tri, lavage, déchiquetage) avant d'être fondus et extrudés pour former de nouveaux granulés. Si cette méthode permet de préserver la structure macromoléculaire du polymère, elle est incapable d'éliminer efficacement les additifs hérités (Wagner & Schlummer, 2020). En outre, certains plastiques peuvent être contaminés par des additifs provenant d'autres plastiques, bien qu'ils n'en contiennent pas dans leur formulation d'origine (Outters & De Miguel, coord., 2020). Ces substances ajoutées de manière non intentionnelle, appelées « NIAS » (Non-Intentionally Added Substances) selon la réglementation européenne, contribuent à la contamination des matières plastiques recyclées (Fini, 2021). En effet, à la sortie du processus de recyclage, le plastique recyclé peut contenir des quantités d'additifs et de NIAS inconnues qui vont de surcroît augmenter sa complexité (Akoueson, 2022) et diminuer sa réincorporation dans d'autres produits.

En effet, les additifs présents dans les déchets plastiques freinent la réintroduction des plastiques recyclés dans des filières dites sensibles. Car, la qualité du recyclat est souvent compromise par la persistance d'additifs dégradés ou inconnus. Cela a un impact direct sur les propriétés du matériau recyclé : instabilité thermique, altération des caractéristiques mécaniques, émission d'odeurs ou migration de substances toxiques. Ces défauts de qualité restreignent sévèrement l'utilisation du recyclat dans les applications exigeant des standards élevés de sécurité et de pureté, tels que les emballages alimentaires, les dispositifs médicaux ou les jouets. Les réglementations européennes, notamment le règlement (UE) n° 10/2011, imposent des seuils stricts de migration spécifique pour les substances en contact avec les denrées alimentaires, seuils difficilement respectables par des plastiques recyclés contenant des additifs non maîtrisés (Wagner & Schlummer, 2020).

De plus, certains additifs aujourd'hui classés comme polluants organiques persistants (POP) – notamment certains retardateurs de flamme bromés ou les phtalates – sont interdits ou très fortement restreints. Néanmoins, ils sont encore présents dans des plastiques issus de biens techniques (DEEE, VHU, construction) ce qui limite encore les débouchés du recyclage mécanique dans ces filières et contraint les opérateurs à diriger ces flux vers l'incinération ou la mise en décharge (Wagner & Schlummer, 2020).

Ce constat est problématique pour les objectifs de l'économie circulaire, qui vise à maximiser la réintégration des matières plastiques recyclées dans le cycle productif. Par ailleurs, l'altération des propriétés des matériaux après recyclage induit souvent l'ajout d'additifs destinés à restaurer les caractéristiques initiales

du matériau ou à homogénéiser la qualité du plastique recyclé. Cela augmente généralement le coût des plastiques recyclés et complique les futures tentatives de recyclage de ces matériaux (Akoueson, 2022), renforçant ainsi les limites techniques et économiques de la circularité des plastiques.

Trois grandes familles de polymères aux enjeux et aux caractéristiques de recyclabilités différentes

Le recyclage mécanique n'est pas en mesure de traiter tous les types de plastiques, car les matières plastiques regroupent de multiples polymères synthétiques, dont certains ont des propriétés de recyclabilité et d'autres non. Ainsi, les propriétés physico-chimiques des plastiques sont au centre de la problématique de leur valorisation par recyclage, permettant ou non leur recyclabilité.

Les thermoplastiques : champions « théoriques » du recyclage

Seuls les thermoplastiques sont en théorie recyclables, car ce sont des polymères qui sont « susceptibles d'être, de manière répétée, ramollis par chauffage et durcis par refroidissement dans un intervalle de température caractéristique du plastique considéré et à l'état ramolli, d'être mis en forme par plasticité dans un moule, par extrusion ou formage » (NF EN ISO 472, 2013), ce qui leur permet d'être façonnés et moulés dans diverses formes de façon réversible. Les thermoplastiques sont des polymères constitués de chaînes moléculaires linéaires ou à structures ramifiées dotées de chaînes flexibles. Ils peuvent changer de consistance lorsqu'ils sont chauffés, car « lorsque la température augmente, les forces de liaison secondaires sont diminuées (par un mouvement moléculaire accru) de sorte que le mouvement relatif des chaînes adjacentes est facilité lorsqu'une contrainte est appliquée » (Callister & Rethwisch, 2014). Les polymères thermoplastiques les plus courants sont le polyéthylène (PE), polypropylène (PP), polystyrène (PS), poly(éthylène téréphtalate) (PET) et poly(chlorure de vinyle) (PVC)... Ils sont utilisés dans de nombreuses applications allant des emballages, textiles, pièces automobiles, tuyaux, revêtements de sols, jouets, aux produits électroménagers, etc. Les thermoplastiques représentent 83,3 % des plastiques vierges produits au niveau mondial en 2021 (Plastics Europe, 2022).

Il est possible de détailler cette famille en sous-familles, afin de montrer la multiplicité des nombreux polymères et du langage technique associé (cf. tableau 5). La famille des thermoplastiques regroupe de nombreuses sous-familles, parmi lesquelles les polyoléfines occupent une place centrale. Considérées comme les polymères de commodité par excellence (Monteil & Boisson, 2021), elles se distinguent par leur grande polyvalence, ce qui en fait les plastiques les plus utilisés à l'échelle mondiale. En Europe, les polyoléfines représentent à elles seules près de 50 % de la consommation totale de plastique, soit environ 195 millions de tonnes (Plastics Europe, 2022). Cette large utilisation s'explique en grande partie par leur présence massive dans les applications d'emballage. En conséquence, elles constituent près des deux tiers de tous les déchets plastiques générés en Europe⁶⁶. Parmi les principales polyoléfines, on retrouve le polypropylène (PP) et le polyéthylène (PE), ce dernier se déclinant en deux formes : le polyéthylène basse densité (PEBD) et le polyéthylène haute densité (PEHD). Les polyvinyliques sont également une sous-famille, où l'on retrouve le plus connu, le polychlorure de vinyle (PVC). Continuons, avec les polyesters linéaires, autre sous-famille, comme le polyéthylène téréphtalate (PET). Viennent aussi les sous-familles des polystyreniques avec le polystyrène (PS) ; des copolymères styréniques comme l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) ; des polyamides ; des polyacryliques ; des polyméthacryliques ;

66 <https://plasticseurope.org/plastics-explained/a-large-family/polyolefins-2/> consulté en juillet 2025

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

des polycarbonates ; des cellulosiques ; des polyfluorethenes ; des polyacetals ; des polysulfones, etc. Cette grande variété de matériaux rend compte d'une conception complexe, qui est nécessaire pour les industriels, soucieux d'utiliser les propriétés et les fonctions que chaque matériau apporte, comme la rigidité, la résistance, la souplesse, la stabilité, l'opacité, la transparence, etc., et les choisissent en fonction de leur usage final.

Les thermodurcissables : impossibles à recycler

Au contraire de la famille des thermoplastiques, les thermodurcissables ne sont pas recyclables puisqu'ils subissent une réaction chimique lors de leur moulage, formant une structure rigide et irréversible. Les thermodurcissables sont des polymères réticulés, c'est-à-dire que leurs chaînes ne sont pas reliées entre elles avant le chauffage. Après chauffage, des liaisons covalentes se forment, permettant de relier les chaînes entre elles. Ses liaisons covalentes ne peuvent être rompues, ainsi ils ne peuvent se ramollir lorsqu'ils sont chauffés et donc ne peuvent être recyclables. Cependant, « les polymères thermodurcissables sont généralement plus durs et plus forts que les thermoplastiques et ont une meilleure stabilité dimensionnelle » (Callister & Rethwisch, 2014). Grâce à leurs propriétés, les thermodurcissables permettent de fabriquer des revêtements de sol, des pièces électroniques, des isolants, des produits de la construction, etc. Ils représentent 7,1 % des plastiques consommés dans le monde (Plastics Europe, 2022).

Les élastomères : un recyclage possible, mais complexe

De leur côté, les élastomères présentent des propriétés « élastiques » et semblables à celle du caoutchouc naturel. Ils ont donc la particularité de supporter de très grandes déformations avant de rompre. Leurs chaînes sont reliées entre elles par des liaisons covalentes incassables, ce qui leur permet de s'étirer sous une action mécanique, mais de ne pas rompre. Après une action mécanique de déformation, les chaînes reviendront à leur état initial. Leur structure réticulée pose des difficultés lors du recyclage, c'est pourquoi ils sont essentiellement recyclés par un procédé chimique par pyrolyse (Han *et al.*, 2023).

Voici ci-dessous le tableau récapitulatif des trois familles de matières plastiques et de leurs sous-familles.

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

Classification des matières plastiques par famille			
Famille des Thermoplastiques			
Sous-famille	Polymères	Abréviations	Exemples d'objets
Polyoléfines	Polyéthylène	PE	Coques de bateau, canalisations...
	Polyéthylène basse densité	PEBD	Emballages, tuyaux, câbles...
	Polyéthylène basse densité linéaire	PEBDL	Sacs, films...
	Polyéthylène haute densité	PEHD	Jouets, emballages...
	Polypropylène	PP	Emballages, voitures, textiles...
Polyvinyliques	Polychlorure de vinyle	PVC	Tissus, gaines, bâches, tuyaux, fenêtres...
	Poly-acétate de vinyle	PVAC	Peintures, vernis...
	Polychlorure de vinylidène	PVDC	Films...
	Polybutyral	PVB	Vernis...
	Polyalcool vinylique	PVAL	Liant pour colles...
Polystyréniques	Polystyrène	PS	Emballages, réfrigérateurs...
	Polystyrène expansible	PSE	Emballages, isolations...
	Copolymères styrène-acrylonitrile	SAN	Tuyaux, menuiseries, navires, appareils sanitaires, véhicules...
	Terpolymère acrylonitrile-butadiène-styrène	ABS	Appareils électroménagers...
	Méthylméthacrylate butadiène styrène	MBS	Coffres, pare-chocs...
	Styrène butadiène styrène	SBS	Équipements médicaux, appareils ménagers, stylos, boîtes alimentaires...
	Thermofusibles styrène isoprène styrène	SIS	Bitume... Chaussures, additifs...
Polyacryliques	Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	Vitrages, verres de lunettes, règles...
	Polyacrylonitrile	PAN	Textiles, films...
Polyamides	Polyamides 6, 11, 12, etc	PA	Textiles, prises, électroménagers...
Polycarbonates	Polycarbonates	PC	Disques, casques, vitrages...
Cellulosiques	Acétate de cellulose	CA	Fibres, vernis, films...
	Nitrate de cellulose	CN	Peintures, laques, encres, colles...
Polyesters linéaires ou saturés	Polyéthylène téréphtalate	PET	Emballages, textiles...
	Polybutylène téréphtalate	PBTB	Pièces isolantes, interrupteurs...
	Polytétraméthylène	PTMT	
Polyfluorethènes	Polytétrafluoréthène	PTFE	Revêtements antiadhésifs, tuyaux, joints..
	Polychlorotrifluoréthylène	PCTFE	Revêtements artificiels...
	Polyfluorure de vinylidène	PVDF	Revêtements artificiels...
Polyacétals	Polyoxyméthylène	POM	Engrenages, robinetterie, outillage...

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

Polysulfones		PSU	Peintures, vernis
Polysulfure de phényle		PPS	Pièces anticorrosion, ustensiles culinaires, revêtements anti-adhérents...
Polyoxyphényle modifié		PPO	Véhicules, isolateurs électriques, applications aérospatiales...
Famille des Thermodurcissables			
Polyesters insaturés		UP	Laques, vernis, colles...
Phenoplastes	Phénol-formol	PF	Encres, mousses, peintures...
Aminoplastes	Urée-formol	UF	Adhésif industriel du bois
	Mélanine-formol	MF	Bois formica
Polyépoxydes		EP	Revêtements, peintures...
Polyimides		PI	Films, circuits imprimés, câbles...
Polyuréthanes		PUR	Mousses, préservatifs, vernis, colles...
Polyoranolsiloxanes		SI	Cosmétiques, huiles, graisses, tuyaux...
Famille des Élastomères			
Caoutchoucs à usages généraux	Caoutchouc naturel	NR	Jouets...
	Polyisoprène de synthèse	IR	Gommes des pneumatiques...
	Copolymères de butadiène styrène	SBR	Semelles des chaussures, gomme des pneus...
	Polybutadiènes	BR	Semelles des chaussures, gomme des pneus...
Caoutchoucs spéciaux	Co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène	EPM et EPDM IIR, BIIR, CIIR	Joints d'étanchéité, automobile, lave-linge...
	Copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés	NBR	Caoutchouc
	Copolymères de butadiène acrylonitrile	CR	Gants médicaux, gainage de câbles...
	Polychloroprènes		Colles...
Caoutchoucs très spéciaux	Caoutchoucs de silicone	VMQ, FVMQ	
	Élastomères fluorés	FKM	
	Polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés	CM, CSM	
	Polyacrylates	ACM	
	Copolymères éthylène acétate de vinyle	EVM	
	Ethylène acrylate de méthyle	AEM	
	Caoutchoucs nitrile hydrogénés	HNBR	
	Caoutchoucs d'épichlorhydrines	CO, ECO, GECO	
Polyuréthanes malaxables	AU, EU		

© J. PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Tableau 5 : Classification des matières plastiques par famille

Les plastiques composites et multicouches : d'autres plastiques non recyclables

De plus, les plastiques composites et les emballages multicouches, qui combinent plusieurs types de matériaux pour des raisons de fonctionnalité, sont également difficilement recyclables mécaniquement. En effet, ces matériaux sont souvent conçus en combinant plusieurs types de plastiques ou en les associant à d'autres substances, comme des métaux, du papier ou des films plastiques, dans le but de renforcer leurs propriétés fonctionnelles : par exemple, pour améliorer leur résistance, offrir des barrières contre l'humidité ou prolonger la durée de conservation des aliments (exemple : une brique de lait fait en aluminium, plastique et carton). Cette combinaison de matériaux rend leur séparation très difficile lors d'un processus industriel de recyclage (et surtout pas du tout rentable économiquement). Chaque type de matériau nécessitant des conditions spécifiques de traitement, les plastiques composites et multicouches ne peuvent généralement pas être recyclés en une matière homogène réutilisable.

Enfin, la réussite du recyclage mécanique dépend de la pureté et de l'homogénéité du flux de plastiques collectés. Un tri précis et efficace est donc indispensable pour séparer les différents types de plastiques et garantir un recyclage de qualité. Bien que les technologies de tri aient considérablement progressé ces dernières années, elles ne permettent pas encore de traiter la totalité des déchets plastiques (Ademe, 2022).

Le recyclage mécanique, présentant de nombreuses limites de process, d'autres formes de recyclage commencent à se développer industriellement, comme le recyclage chimique et physico-chimique (*cf.* encadré 6), qui est présenté comme « solution complémentaire pour combler des lacunes et permettre de recycler des plastiques pour lesquels il n'existe actuellement aucune solution de recyclage, ou qui sont mal valorisés par la voie mécanique » (Ademe, 2022). Pour autant, à l'heure actuelle, le développement de ces technologies semble plutôt en difficulté, puisque deux des quatre sites industriels français ouverts pour développer le recyclage chimique ont fermé fin 2024 (déchets-infos n° 287).

Encadré 6 : Le recyclage chimique, un complément de solution très énergivore

En France, le recyclage chimique connaît, depuis les années 2020, un intérêt croissant en réponse aux limites du recyclage mécanique. Mis au point de façon expérimentale dans les années 1990, ce procédé permet d'obtenir un polymère de qualité équivalente à celle du matériau vierge. Contrairement au recyclage mécanique, le recyclage chimique modifie la structure des plastiques traités et permet d'éliminer les additifs présents pour recréer les molécules initiales (Barrère-tricca et al., 2024). Le recyclage chimique repose principalement sur trois technologies différentes possibles : la déformulation, la dépolymérisation et la conversion :

- La déformulation vise à purifier les polymères des additifs, sans modifier leur structure chimique, en utilisant des techniques comme la dissolution ou l'extraction. Bien que le polymère reste intact et sans transformation chimique, cette méthode est considérée comme du recyclage chimique.
- La dépolymérisation utilise des solvants ou des enzymes pour casser les liaisons chimiques des polymères et récupérer les monomères. Ce procédé, adapté au PET, aux polyuréthanes et aux polyamides, reste toutefois inopérant pour le polyéthylène et le polypropylène, qui dominent les flux plastiques non traités par le recyclage mécanique et qui aurait pu de ce fait représenter un gisement pertinent pour le recyclage chimique.

La conversion repose sur des procédés tels que la pyrolyse ou la gazéification, qui transforment les plastiques en hydrocarbures (comme l'huile de pyrolyse ou le gaz de synthèse). Ces derniers sont ensuite raffinés pour produire les monomères nécessaires à un nouveau processus de polymérisation. Cette technique permet de recycler des plastiques, comme les polyoléfines et le polystyrène.

Le recyclage chimique, bien que semblant prometteur pour le traitement des déchets plastiques complexes, présente plusieurs obstacles qui limitent son adoption à grande échelle. Tout d'abord, ces technologies requièrent des infrastructures et des équipements importants, ce qui engendre des coûts de production nettement plus élevés que ceux du recyclage mécanique ou de l'utilisation de matières premières vierges, remettant en question leur viabilité économique. Par ailleurs, certains procédés, comme la pyrolyse, nécessitent des températures très élevées (souvent supérieures à 400 °C), ce qui entraîne une forte consommation d'énergie, généralement issue de sources fossiles, ayant ainsi un impact notable sur l'environnement. Tout comme les procédés thermiques classiques, la pyrolyse et la gazéification génèrent des émissions de gaz à effet de serre, ce qui accentue leur empreinte environnementale. L'ensemble de ces éléments fait qu'après avoir attiré l'attention des plus hautes autorités de l'État (annonce de la construction de la plus grande usine de recyclage plastique au monde par le président de la République en janvier 2022 en Normandie), l'implantation de cette technologie commence aujourd'hui à connaître ses premiers revers industrialo-économiques (Déchets-infos n°287). Les hésitations politico-industrielles positionnent ainsi parfois les agences de l'état dans une situation délicate : « l'Ademe est critiqué aujourd'hui, car nous soutenons le recyclage chimique. Alors que ce recyclage génère plus d'impacts environnementaux (énergie, solvants) que le recyclage mécanique. Mais il permet d'avoir une meilleure qualité de MPR. Le but est aussi ici de détourner le gisement de plastique qui va en enfouissement ou à l'incinération. On est très vigilant sur les tonnages entrants du recyclage chimique⁶⁷ ». Au-delà de ces contraintes technico-environnementales, la croyance dans le développement de technologies nouvelles pour le recyclage, tel que le recyclage chimique, risque également d'éloigner toute velléité de diminution des usages du plastique et de réduction des déchets, aboutissant alors potentiellement au renforcement du non-respect de la hiérarchie des modes de traitement.

67 Entretien réalisé avec une ingénieure, Ademe, 25 octobre 2022

Pas « un » recyclage, mais « des » recyclages

Nous poursuivons ainsi notre réflexion sur les limites du recyclage, en soulignant qu'il n'existe pas un recyclage unique, mais des voies de recyclage des déchets plastiques, parmi lesquelles le recyclage en boucle ouverte s'avère prédominant.

Une multitude de termes techniques et de voies de recyclage

De nombreux termes sont employés pour définir les différentes voies de recyclage des déchets plastiques, qui sont le sous-cyclage, le décyclage, le surcyclage, la boucle ouverte, la boucle fermée ou encore d'autres en anglais, comme *open loop*, *close loop*, *downcycling*, et *upcycling*. Il n'existe pas à ce jour de terme faisant consensus. Ce foisonnement de vocabulaire technique rend toutefois la fin d'usage des plastiques encore plus flou et insaisissable.

Le terme de surcyclage, équivalent anglais d'« upcycling » ou québécois de « suprarecyclage », est défini comme un procédé qui consiste à transformer des matériaux ou objets destinés à être jetés en produits à plus forte valeur ajoutée, esthétiques et/ou utiles que la fonction initiale de l'objet dont vient le recyclat, en changeant sa fonction de départ pour une fonction jugée meilleure (Négrier, 2023). Cette définition comporte ainsi une part importante de subjectivité, rendant son application difficile (elle est souvent utilisée pour la création d'objets d'art ou d'artisanat à partir de déchets). Les termes « upcycling » (surcyclage) et « down-cycling » (sous-cyclage) ont été introduits en 1994 par l'architecte allemand Reiner Pilz. Il a critiqué le recyclage traditionnel qu'il qualifiait de « down-cycling », estimant qu'il détruisait les matériaux au lieu d'ajouter de la valeur aux produits (Négrier, 2023). La popularité du terme « upcycling » a été grandement amplifiée par la publication du livre de Gunter Pauli en 1998, ainsi que par le best-seller « Cradle to Cradle : Créer et recycler à l'infini » de William McDonough et Michael Braungart en 2002.

À l'opposé du spectre du recyclage, le terme de « boucle ouverte » signifie que les plastiques recyclés ne sont pas utilisés pour fabriquer de nouveaux objets identiques, mais sont plutôt transformés en produits de qualité ou d'usage inférieurs, souvent dans d'autres secteurs industriels. Ce terme peut être traduit par les vocables (non consensuels) de dé-cyclage ou de sous-cyclage.

Entre les deux, on retrouve l'idée qu'un matériau recyclé pour être réutilisé pour un usage strictement identique à son usage premier. Il s'agit du recyclage en « boucle fermée » : « recycler en circuit fermé signifie collecter, trier, décontaminer et repolymériser un plastique qui se dégrade au cours du procédé de recyclage » (Gontard, 2018). Les termes « open loop » et « closed loop » sont utilisés dans les études d'analyse de cycle de vie (ACV), et se traduisent respectivement en français par « boucle ouverte » et « boucle fermée » (Klöpffer, 1996).

Nous avons fait le choix, dans ce manuscrit, d'utiliser ces termes de « boucle ouverte » et de « boucle fermée », car, ils renvoient plus directement à la notion de circulation de la matière que les autres termes. De plus, ils semblent plus neutres que d'autres pouvant être perçus de façon exagérément négative ou positive, tel le décyclage perçu *négligemment par la communauté scientifique de recherche en matériaux* (discours rapportés), mais aussi l'upcycling qui joue davantage sur le symbole de la matière recyclée que sur la réalité des flux (souvent minimes).

La domination du recyclage en boucle ouverte

Le recyclage majoritaire des plastiques en France est un recyclage avec changement d'usage, en boucle ouverte (*cf.* figure 11). Ceci est dû à deux facteurs principaux. Le premier est que, lorsqu'un plastique est recyclé, il subit généralement une dégradation de ses propriétés physiques et chimiques ; ayant perdu ses caractéristiques initiales, il ne pourra pas être réincorporé dans son usage initial. L'exemple typique est les bouteilles en PET transformées en fibres textiles. Le deuxième est que les produits et emballages en plastique sont souvent un mélange de plusieurs résines, ce qui complique leur recyclage en produits ayant des caractéristiques similaires.

En revanche, certains plastiques, comme le PET clair utilisé pour les bouteilles d'eau ou de soda, sont recyclés en boucle fermée. C'est d'ailleurs la seule boucle fermée identifiée pour le recyclage des plastiques à l'heure actuelle (*cf.* figure 11). Ainsi, seules les bouteilles en PET clair sont généralement fabriquées à partir d'une résine homogène, ce qui facilite leur traitement et permet un recyclage en boucle fermée. De plus, elles ne contiennent pas de colorants ou d'additifs complexes, ce qui permet de les recycler directement en de nouvelles bouteilles PET, préservant ainsi leurs propriétés initiales : « en France, le PET est le seul matériau plastique qui peut être décontaminé lors du processus de régénération et qui peut ainsi être réutilisé dans des emballages au contact alimentaire⁶⁸ ». Cependant, en France, selon Citeo, seuls 9 % de ces bouteilles sont effectivement recyclées en boucle fermée. Ce faible taux est dû à des contraintes technologiques, notamment les différences de propriétés entre le PET recyclé et le PET vierge, ainsi qu'à des préoccupations liées à la sécurité du consommateur en raison du risque de contamination. Par conséquent, le recyclage en boucle fermée reste très limité.

Des initiatives sont actuellement en cours afin de développer des filières de recyclage spécifiques pour d'autres types de plastiques, jusqu'ici peu ou pas valorisés (*cf.* chapitre 7). Cela concerne notamment les emballages plastiques concernés par le « flux développement »⁶⁹. Il regroupe d'une part les films en PE et PP (packs de bouteille d'eau, sachets de salade, pâtes, biscuits, confiserie...) ⁷⁰, et d'autre part, les plastiques rigides en mélangeant à sur-trier, incluant le PET coloré (bouteilles), le PET opaque (bouteilles de lait), les barquettes en PET clair (barquettes de viennoiserie, de charcuterie, etc.), le PS (pots de yaourt) ⁷¹, les matériaux multicouches ou complexes (barquettes). Ce flux s'inscrit également dans la volonté de favoriser l'émergence du recyclage chimique des plastiques (Gérardin et *al.*, 2024).

Certaines filières de recyclage ne verront cependant pas le jour, en raison de plusieurs facteurs. Tout d'abord, pour certains plastiques, les quantités collectées ne sont pas suffisantes pour justifier la mise en place d'une infrastructure de recyclage dédiée. Cela représenterait un coût trop important, car ne permettant pas d'économie d'échelle suffisamment importante⁷². Il s'agit par exemple des bioplastiques, des plastiques composites ou des plastiques multicouches. De plus, les propriétés de

68 <https://www.cotrep.fr/le-tri-et-le-recyclage-des-plastiques-en-france/> consulté en juillet 2025

69 En 2019, Citeo et l'ensemble des parties prenantes ont décidé de créer un nouveau flux dédié aux plastiques, dans le but d'externaliser le tri des résines les moins représentées dans la collecte sélective vers des centres de surtri spécialisés. Ce flux a été baptisé « flux développement ». <https://www.citeo.com/interview-dun-expert/le-flux-developpement-accelerateur-de-rd-pour-le-recyclage-des-emballages> consulté en juillet 2025

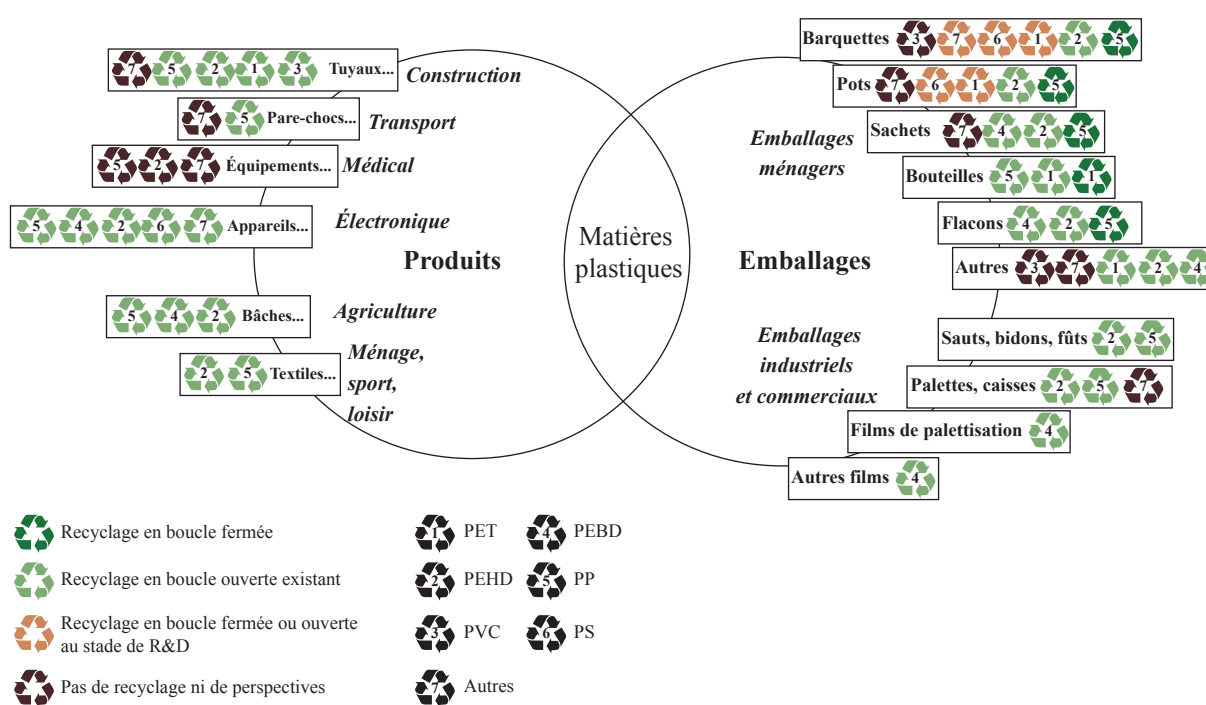
70 <https://www.citeo.com/le-mag/deux-nouvelles-filieres-pour-recycler-plus-demballages-en-plastique> consulté en juillet 2025

71 <https://www.citeo.com/le-mag/une-nouvelle-filiere-de-recyclage-pour-les-emballages-en-polystyrene> consulté en juillet 2025

72 Entretien réalisé avec un directeur écoconception et réemploi de Citeo, le 8 septembre 2022

ces plastiques, une fois recyclés, peuvent ne plus convenir à leurs usages initiaux, ce qui limite leur demande dans certains secteurs.

De surcroît, les coûts élevés de développement de nouvelles filières, associés à la faible rentabilité attendue pour certaines catégories de plastiques, poussent à privilégier d'autres solutions, comme la valorisation énergétique en CSR ou incinération. Ainsi, certaines filières ne sont pas développées, car elles sont jugées non viables économiquement par les acteurs de la filière, ou non faisable techniquement, en dépit des ambitions politiques de recycler davantage de matériaux plastiques⁷³. S'ajoute à cela le rôle, en principe central, des éco-organismes -structures chargées d'organiser et de financer la gestion des déchets dans le cadre de la responsabilité élargie du producteur (REP). Bien qu'ils soient censés soutenir activement le développement de ces nouvelles filières, leur implication reste souvent limitée, et ils peinent à atteindre les objectifs de recyclage fixés : « plusieurs éco-organismes n'atteignent pas les objectifs qui leur sont assignés. Pour certaines filières, il est noté une insuffisance de collecte et un taux de recyclage inférieur aux objectifs réglementaires. Par exemple, seuls 23 % des emballages plastiques sont recyclés alors que nos engagements européens prévoient un objectif de 50 % en 2025 » (Outters-Perehinec et al., 2024).



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Source : Ministère de la Transition Écologique, Rapport quel potentiel 3R, 2020, p. 92.

Figure 11 : Des résines difficilement compatibles avec le recyclage, l'exemple des principaux thermoplastiques

73 Entretien réalisé avec une ingénieure de Cotrep, le 11 juillet 2022

Chapitre 2 - Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler

Chapitre 3 : Une approche interdisciplinaire pour investiguer les déchets plastiques

Les chapitres 1 et 2 dressent un panorama des nombreuses complexités liées aux matières plastiques : une production en constante augmentation sans réelle prise en compte de leur fin de vie, une méconnaissance générale de leur nature, des propriétés physico-chimiques extrêmement variées, une pollution massive et à cela s'ajoute un recyclage complexe. Ce flou alimente une perception des plastiques - ainsi que des acteurs, techniques et infrastructures qui les entourent - comme un univers obscur et difficilement intelligible. Ces multiples dimensions font des plastiques un objet d'étude complexe, qui, pour être mieux appréhendé, nécessite une approche interdisciplinaire : c'est l'objet de ce troisième chapitre.

L'interdisciplinarité est difficile à définir, car c'est un terme polysémique et flou (Morin, 1994) ou encore, un concept valise (Frodeman, 2019) englobant toutes pratiques qui franchissent les frontières disciplinaires. Le volume de l'OCDE « *Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities* » en 1972 (OCDE, 1972), a permis de poser les bases de la conceptualisation de l'interdisciplinarité dans l'enseignement et la recherche. À cette occasion, Jean Piaget dans son article « L'épistémologie des relations interdisciplinaires » (1972), propose une définition en trois niveaux de l'interdisciplinarité « selon le degré d'interaction atteint entre les composantes ». En premier lieu ou, comme « palier inférieur » la multidisciplinarité est un échange d'informations sur un problème donné entre différentes sciences, mais sans vraies interactions et enrichissement des disciplines. En « second niveau », l'interdisciplinarité embrasse pleinement la collaboration et l'interaction « entre disciplines diverses ou entre des secteurs hétérogènes d'une même science » dans le but d'un « total enrichissement mutuel ». Enfin, la transdisciplinarité comme une « étape supérieure » des relations interdisciplinaires « qui ne se contenterait pas d'atteindre des interactions ou réciprocitys entre recherches spécialisées, mais situerait ces liaisons à l'intérieur d'un système total sans frontières stables entre les disciplines » (Piaget, 1972). Cette dernière est qualifiée par Jean Piaget comme « un rêve » et plus récemment comme « une utopie, un objectif à atteindre qui s'éloigne quand on croit l'avoir atteint » (Chamak, 2022).

Ainsi, l'interdisciplinarité est une somme d'interactions entre disciplines où plus précisément des liens créés entre chercheur·es autour d'un même objet d'étude. Il est d'ailleurs, communément admis l'importance, voire la primauté de ces liens créés lors d'une telle expérience. Le *National Academies of Science*, dans le rapport *Facilitating Interdisciplinary Research* (2004), qualifie l'interdisciplinarité de « l'une des activités humaines les plus productives et les plus inspirantes, qui offre un format pour les conversations et les liens qui mènent à de nouvelles connaissances »⁷⁴. L'interdisciplinarité n'est donc pas seulement un procédé original de plus pour répondre à un questionnement précis, bien au contraire, la part essentielle de ce travail réside dans les relations humaines (*cf.* encadré 7). Les nouvelles connaissances produites sont alors la conséquence du rapprochement disciplinaire.

74 Traduit de l'anglais : « one of the most productive and inspiring of human pursuits—one that provides a format for conversations and connections that lead to new knowledge. »

Encadré 7 : L'expérience interdisciplinaire de la thèse

Passer un pied hors de sa discipline pour seul objectif de croiser, d'enrichir, d'apprendre plus et probablement aussi mieux, sur sa propre discipline mère, sur celle qui nous fait face et sur l'objet étudié. Nicole Mathieu, a bien expliqué ce phénomène que nous qualifions d'équilibriste, demandant au chercheur.e de rester en lien avec sa discipline et ses pratiques tout en induisant un mouvement vers l'autre discipline pour accéder à un espace de recherche à construire. « *Il faut à la fois s'interroger profondément sur l'identité de la discipline qui formera sa ligne d'investigation première et, en même temps, savoir se déplacer, se déporter, se « dédiscipliniser » (Frodeman 2014) pour accéder aux problématiques non instruites, parce qu'elles sont incertaines et complexes et qu'aucune discipline ne peut les traiter à elle seule. Sortir de la « rigidité disciplinaire » et des « dispositifs méthodologiques définis » pour construire un « objet comme problème » (...)* » (Mathieu, 2018). C'est l'enjeu de l'interdisciplinarité, savoir être entre deux, dans cet espace parfois inconfortable, en perpétuel mouvement entre disciplines. Un pont unissant la chimie de l'environnement et la géographie sociale (tendance rudologie) est-il vraiment possible ? Quel degré d'interdisciplinarité est envisageable ? Nous répondrons au premier questionnement par la positive et au deuxième par notre propre expérience interdisciplinaire.

La cohésion de ces deux disciplines a été possible par l'établissement d'un espace nouveau, où, l'objet de recherche était tout d'abord investigué distinctement par chacune des disciplines, avant d'envisager un travail entre elles en intégrant les diverses cultures disciplinaires. Nous sommes effectivement engagés dans une démarche de recherche qui consiste à méthodiquement assembler des connaissances, des questionnements et des méthodes de travail provenant de ces deux disciplines éloignées. Il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition des disciplines, mais bien d'un véritable dialogue et d'une coopération entre elles. L'interdisciplinarité est le socle de cette thèse, il a fallu la construire en gardant à l'esprit une discipline d'origine, la Géographie sociale, tout en créant des interactions et des collaborations passionnantes avec la Chimie. La construction de notre objet d'étude interdisciplinaire s'est faite tout au long de la recherche. Des ajustements et des emprunts ont forgé ce partenariat.

Ce mélange disciplinaire à première vue étonnant a nourri l'étude menée, même si sa mise en œuvre n'a pas toujours été aisée. Le complexe de ne pas injecter assez de chimie et de manquer de connaissances sur cette discipline est récurrent. Si les approches et les méthodes de recherches sont très différentes, elles se retrouvent autour de démarches scientifiques communes, ainsi que de valeurs partagées. Celles-ci sont notamment centrées sur l'objet « déchets plastiques » partagé, ayant pour ambition de participer à la réduction de leur production et à leur prévention, au regard des pollutions provoquées. La valeur du partage des savoirs et de diffusion de la culture scientifique est également partagée.

Il a fallu également se comprendre, trouver un langage commun. Les termes techniques et scientifiques sont peu intelligibles par l'autre discipline. Ils nécessitent d'avoir un bagage disciplinaire pour en comprendre la signification. Il a fallu, côté chimie, s'adapter en suivant des cours destinés aux étudiant-es de l'université, en se référant à la littérature et en demandant des définitions et explications de chaque terme rencontré. Le vocabulaire et les notions ne sont, encore aujourd'hui, pas pour autant totalement assimilés et compris dans leur entièreté, car « l'interdisciplinarité nécessite d'apprendre une langue étrangère » (Barles, conférence, doctoriales rudologies, Le Mans, 2024), demandant un temps long et une immersion totale.

De plus, il est observé que les conflits les plus importants lors de la réalisation d'études interdisciplinaire sont provoqués par des pratiques méthodologiques différentes et non convergentes. Dans notre cas, il n'y a pas eu de conflits de méthode, les disciplines étant tellement éloignées qu'elles ne pouvaient pas remettre en cause la méthodologie employée par l'autre. La non-expertise a ici fait place à une confiance mutuelle. De plus, de par mon ancrage disciplinaire d'origine et le sujet de thèse sur l'analyse de la structuration des circulations des plastiques en fin d'usage en France, la méthodologie qui s'est avérée la plus adaptée est une méthodologie provenant du concept de métabolisme territorial, plutôt utilisé en SHS ou en sciences de l'ingénieur. Ce choix s'est révélé intéressant lors des sessions internes de travail, quand les chimistes ont montré de l'intérêt pour les résultats obtenus, surtout pour les résultats qualitatifs. Au final, les éléments qui leur sont le plus étrangers ont le plus piqué leur curiosité.

Ce questionnement sous-tend une réflexion théorique sur les acteurs qui induisent un rapprochement disciplinaire, sur la forme d'interdisciplinarité expérimentée ainsi que les disciplines en jeu et leurs liens. Cette réflexion sur l'interdisciplinarité vise à mieux comprendre les enjeux et la nécessité d'une telle démarche pour travailler sur un matériau aussi vulgarisé dans ses usages que le plastique.

Notre intérêt dans ce troisième chapitre est de se concentrer tout d'abord sur l'analyse du cadre des disciplines dans la production d'une recherche interdisciplinaire. L'interdisciplinarité dans la recherche, naît généralement d'un double constat : le premier vient de la volonté de résoudre des problèmes complexes, qu'ils soient générés par l'appétit intellectuel du monde scientifique ou par les transformations de la société (Jolliveta & Legay, 2005) ; le deuxième facteur, en lien direct avec le premier, est que le cadre disciplinaire établi ne permet pas de comprendre, par l'entreprise d'une seule discipline, l'objet d'étude complexe identifié (Lemay & Darbellay, 2014). Ainsi, l'interdisciplinarité peut être vue comme une interface réunissant des chercheur-es de disciplines diverses pour appréhender un questionnement de manière holistique. Cela a pour effet d'ouvrir un champ des possibles tant au niveau des connaissances transmises que celles découvertes par cette union. C'est pourquoi nous proposerons ensuite une analogie du concept de la « boîte noire » matérialisé dans les études du métabolisme territorial. Le métabolisme territorial « désigne l'ensemble des flux d'énergie et de matières mis en jeu par le fonctionnement d'un territoire donné » (Barles, 2017). Cet outil analytique permet de quantifier et de visualiser des flux, et ainsi d'estimer leurs impacts sociaux et environnementaux. Le piège est toutefois de rester focalisé uniquement sur les flux entrants et sortants du système, en obstruant complètement les dynamiques en jeu dans la boîte noire, à l'intérieur du système. Ouvrir la boîte noire est donc primordial pour comprendre ces liens, les dynamiques sociales, économiques, territoriales, politiques, etc., existant autour des flux. Ainsi, mieux appréhender une étude interdisciplinaire demande de se pencher sur les divers liens tissés et ainsi rendre « visible l'invisible, le caché » (Bahers et al., 2019). Enfin, nous poursuivrons notre réflexion en examinant comment deux écoles de pensée des études métaboliques, l'écologie territoriale et la Political Industrial Ecology, mobilisent l'interdisciplinarité et des méthodologies combinant approches quantitatives et qualitatives pour appréhender les dynamiques complexes qui caractérisent les flux matériels et immatériels.

L'objet complexe qui justifie l'interdisciplinarité

« Dépasser » et « décloisonner » sont des termes très utilisés quand il est question d'évoquer l'interdisciplinarité. Ils marquent le fait que toute discipline soit, en de nombreuses situations, une entité fermée et imperméable à tout savoir et échange extérieur, qu'il conviendrait de rendre poreuse par une approche interdisciplinaire (bien entendu lorsque nécessaire et pour une raison donnée). Mais, pourquoi une telle attente, pourquoi vouloir franchir la frontière disciplinaire et embrasser l'interdisciplinarité ? C'est une question ouverte, qui demande en premier lieu de s'interroger sur les disciplines et le système disciplinaire en place à l'Université depuis le XX^e siècle. Depuis quelque temps, ce système se voit bousculé et remis en cause par un contexte sociétal global où le savoir est transmis rapidement par des canaux divers, et par des sujets ou phénomènes culturels et environnementaux complexes (exemples : le réchauffement climatique, la ville, la santé, la justice sociale, la mobilité, le bien-être, le chômage, etc.) qui sont difficilement saisissables par silo disciplinaire (Frodeman, 2019). L'interdisciplinarité devient alors une méthodologie indispensable pour surmonter les crises en cours. Dans notre cas, les plastiques représentent l'objet d'étude complexe à investiguer. Leur complexité réside tant dans leur

diversité chimique et physique que dans les multiples enjeux environnementaux, économiques, sociaux et sanitaires qu'ils soulèvent. Les plastiques regroupent une vaste gamme de polymères, aux propriétés, usages et durées de vie très variés. De plus, leur cycle de vie de la production à l'élimination implique des infrastructures techniques, des dynamiques entre acteurs et des problématiques de gestion des déchets qui s'entrelacent. Face à cette complexité, une communauté scientifique internationale et pluridisciplinaire s'est constituée pour étudier les plastiques sous différents angles (pollutions plastiques dans les milieux aquatiques, dans les sols, l'atmosphère, les impacts sanitaires, sociaux, etc.). Cependant, malgré la richesse des études menées, les plastiques demeurent un objet difficile à cerner dans sa globalité, « le plastique, personne n'y connaît rien. » Cette phrase, prononcée par l'un des scientifiques les plus en pointe sur le sujet durant le colloque Plastiques, environnement et santé, laisse dubitatif » (GDR PES, Dupuy, Bobika, Break Free From Plastic, 2025). C'est précisément là que l'interdisciplinarité trouve tout son sens, en permettant de faire rencontrer et dialoguer des chercheur·es de disciplines variées afin d'enrichir mutuellement la compréhension d'un objet d'étude aussi tentaculaire que celui du plastique, « tout en gardant en tête que plus on sait, plus on sait qu'on ne sait pas. Et que le temps fil » (cf. figure 12) (GDR PES, Dupuy, Bobika, Break Free From Plastic, 2025).



Source : GDR PES, Dupuy, Bobika, Break Free From Plastic, 2025

Figure 12 : « Plus on sait... plus on sait qu'on ne sait pas. »

De multiples façons de franchir la frontière disciplinaire

Étymologiquement, la discipline vient de la racine latine *discere* qui signifie étude ou encore apprentissage. Ce terme fait référence au disciple (*disci pulus*) soumis à l'autorité et aux enseignements transmis par le maître. De ce fait, la discipline renvoie à un cadre rigide et hiérarchisé, par un apprentissage descendant

de maître à élève sur une matière et une méthodologie donnée. Cela, implique la reconnaissance d'une autorité et l'obéissance à une instance supérieure de savoir ou de puissance (Gusdorf, 1990). Définir ce terme est important, puisqu'il nous révèle la dynamique qu'il renvoie concernant l'organisation de la science moderne (Blanckaert, 2006).

Le système universitaire s'est organisé autour de la notion de discipline, tant au niveau de l'enseignement que de la recherche. C'est entre le XIX^e et XX^e siècle, que la discipline devient la norme de l'activité de connaissance (Blanckaert, 2006). Ce système vertical (Hibert, 2004) a été prolifique pour générer une accumulation de savoirs, « *sans limite* » (Frodeman, 2019), favorisant ainsi une organisation codifiée qui a peu à peu rompu les liens entre les disciplines et les relations autour des objets de recherche. Edgar Morin, théorise ce fait par ce qu'il appelle le « paradigme de simplicité » (Morin, 2005), constitué de deux principes ; disjonction et réduction.

Le principe de disjonction, qui nous intéresse particulièrement ici, explique-t-il, provient à l'origine de Descartes, qui expose la séparation de la philosophie et de la science au profit de l'exposition d'idées « claires et distinctes ». Cela a eu pour conséquence une raréfaction des interactions « entre la connaissance scientifique et la réflexion philosophique » ne permettant pas à la science une introspection et une remise en question, et venant « priver la science de toute possibilité de se connaître, de se réfléchir, et même de se concevoir scientifiquement elle-même. Plus encore, le principe de disjonction a isolé radicalement les uns des autres les trois grands champs de la connaissance scientifique : la physique, la biologie, la science de l'homme ». Ce principe rend compte de la spécialisation des savoirs et donc de l'éloignement des disciplines.

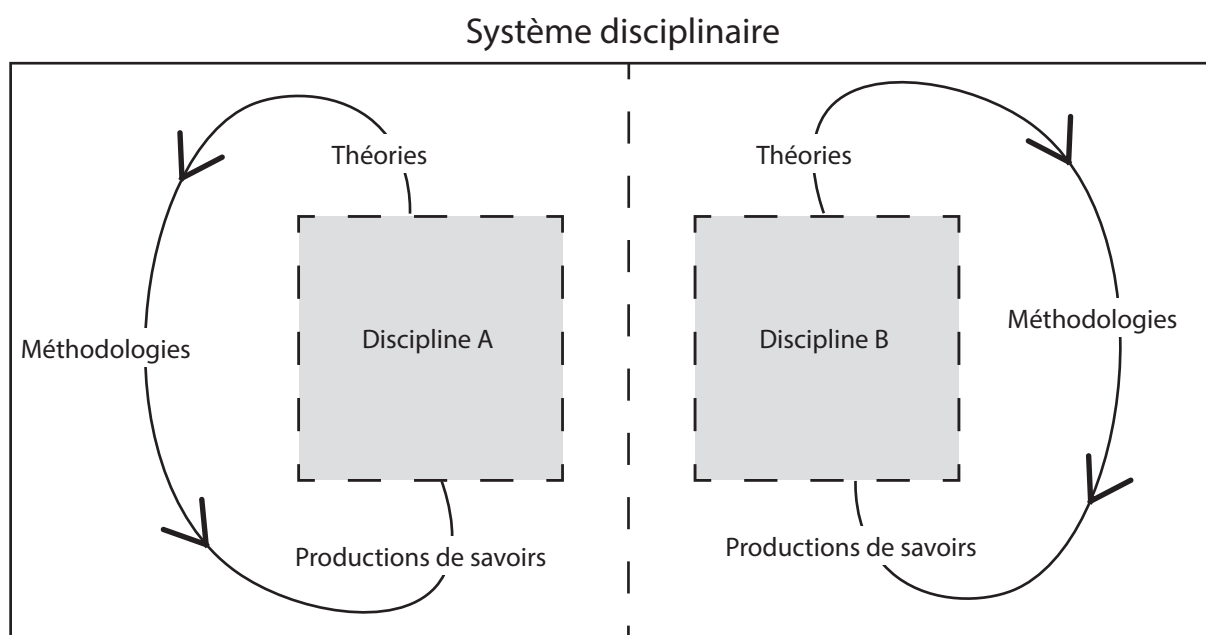
Pour remédier à cette disjonction, Morin (2005) explique qu'une autre forme de simplification a été mise en œuvre : le principe de réduction. Il s'agit de réduire le complexe au simple. Cette réduction n'a pas permis de reconnecter les domaines du savoir, mais a au contraire accentué leur morcellement, au profit d'une hyperspécialisation. Ainsi, loin de favoriser une vision intégrée du savoir, cette logique de réduction participe d'une pensée simplifiante qui, comme il le souligne, est « incapable de concevoir la conjonction de l'un et du multiple (*unitas multiplex*) », ce qui empêche toute compréhension véritable de la complexité du monde.

La discipline, s'exprime dans l'enseignement, par un classement des matières dispensées, les matières littéraires, scientifiques, artistiques, sportives, dans lesquelles la spécialisation est marquée (Louvel, 2015) et toujours plus précoce des « disciples ». Ces étudiant·es suivent des parcours de la Licence au Master dans le modèle européen, et certains vont même jusqu'au doctorat dans la même discipline. Bien sûr des ponts entre formations et des changements d'orientation sont toujours possibles, mais le bagage disciplinaire reste présent. La recherche académique n'y échappe pas. Dès l'inscription en doctorat, le sujet de la recherche est inscrit dans une discipline correspondant à une section du Conseil national des universités (CNU) français. À l'achèvement de la thèse, le/la doctorant·e devenu docteur·e pourra postuler aux postes d'enseignant·e-chercheur·e relevant de sa section disciplinaire ou de sections proches. Même si des sections pluridisciplinaires existent (notamment pour les concours de chercheur CNRS) et que des disciplines sont empreintes des notions et des méthodologies les unes aux autres, l'organisation disciplinaire de l'enseignement et de la recherche reste dominante.

« Le géographe, qui intègre la sociologie dans ses recherches, restera considéré comme un géographe qui fait de la sociologie. Dans le meilleur des cas, il pourra s'intégrer à une équipe de sociologues. Mais sera-t-il alors considéré par cette

équipe comme un chercheur qui applique des méthodes, des outils et des concepts de la sociologie ou bien comme le transfuge géographe ? » (Hibert, 2004).

Dans la recherche académique, les fractions disciplinaires apparaissent au niveau de la production de la recherche, mais aussi dans les pratiques de la profession. De ce fait, l'encrage disciplinaire marque les modalités administratives, institutionnelles, mais aussi les normes de publications et d'enseignement. Il faut toutefois relever que le système disciplinaire en place apporte tout de même une forme de standardisation du métier de chercheur, qu'importe l'inscription d'origine de celui-ci. Pour ce qui est de l'exercice même de la recherche, les disciplines s'autonourrissent (*cf.* figure 13) depuis leurs socles théoriques, idéologiques, conceptuels et méthodologiques jusqu'au développement de nouveaux savoirs.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 13: Schématisation du système disciplinaire

Cette structuration, fait certes avancer la connaissance, mais, dans le même temps, la rend *anarchique* (Gusdorf, 1990) par manque de communication, de compréhension et de transversalité entre chercheur·es de domaines distincts. Pour Gusdorf, chaque champ de connaissance s'est développé selon sa propre logique, en vase clos, au point de perdre de vue une cohérence d'ensemble. Cette absence d'unité entre les disciplines crée une forme d'errance intellectuelle, où le savoir n'est plus structuré, mais éclaté. L'interdisciplinarité vise ainsi à réconcilier les savoirs éclatés, à créer des ponts entre des champs devenus étrangers les uns aux autres, et à restaurer une forme d'unité intellectuelle. Pourtant, loin de combler cette fragmentation, l'accroissement du nombre de travaux de recherches et de chercheur·es, ne fait qu'accroître le sillon entre les disciplines, car, la spécialisation s'impose de plus en plus (Knoop *et al.*, 2022). La spécialité implique une division de la compétence qui est plus liée à un objet d'étude particulier qu'à des problématiques construites et en évolution (Blanckaert, 2006). De nouveaux savoirs foisonnent toujours plus, au gré des identifications et des analyses spécifiques, jusqu'à une perte de contrôle faisant émerger une crise de l'institution disciplinaire (Frodeman, 2015). La réponse à cette crise est le soutien au développement d'études interdisciplinaires. De fait, il est largement admis que les questionnements à aborder sont de nature complexe, dépassant les limites disciplinaires et demandant

donc l'établissement d'interconnexions fortes. Le domaine académique travaille ainsi, à ajuster ses pratiques (par le biais de financements), en instaurant un système disciplinaire plus ouvert pour l'acquisition et le transfert des connaissances. Ce tournant historique a lieu depuis les années 1990, appuyé par la diffusion d'un discours politique tourné vers l'innovation et véhiculé par les gouvernements, par l'OCDE et par l'Union européenne (Louvel, 2015). Une remise en question de la production de connaissances est lancée, avec l'émergence d'un changement fort, celui de ne plus structurer la recherche autour de disciplines, qu'elles soient produites à l'Université, dans des établissements de recherche gouvernementaux ou dans les laboratoires privés, mais plutôt autour de problèmes complexes à appréhender, créés dans des contextes sociaux et économiques, imposant l'interdisciplinarité (Gibbons et al., 1994). Une réflexion sur l'organisation disciplinaire est entreprise, et mise en perspective avec un nouveau modèle transdisciplinaire. C'est le rapport « The New Production of knowledge » (de Gibbons et al., 1994) qui met en avant ce changement de paradigme : passer du « mode 1 » (disciplinaire), au « mode 2 » (transdisciplinaire). Le premier mode est décrit comme homogène et impose une structure hiérarchique, tandis que le deuxième est caractérisé comme hétérogène et transitoire. Le nouveau mode transdisciplinaire est mis en avant par la réflexivité qu'il apporte et par la résolution collaborative de problèmes complexes. Si les qualités, de la recherche transdisciplinaire, sont indéniables, elle n'a pas totalement remplacé l'ancien mode disciplinaire. Et pour cause, cette mutation, toujours en cours, n'a pas l'ambition de réformer la structuration disciplinaire originelle. Les différentes disciplines ne sont pas destinées à disparaître ; au contraire, elles resteront cruciales dans la structuration des études supérieures, assurant toujours un rôle essentiel dans la présentation et l'organisation des connaissances (Frodeman, 2015). La continuité de la production de la recherche ne peut donc se faire sans le soutien des institutions universitaires et sans ressources financières, ni sans l'influence politique qui accorde autorité et reconnaissance. Ainsi, la question d'un statut disciplinaire semble concerner à la fois la pratique, la reproduction et la crédibilité de la science, dans toutes ses acceptions (Blanckaert, 2006). La discipline fournit aussi aux chercheur·es un langage et des outils spécifiques et l'émergence de questions pertinentes. Les mouvements interdisciplinaires opérés n'effacent pas les frontières disciplinaires (Louvel, 2015) : la discipline reste le point de référence et d'ancrage, permettant aux chercheur·es des allers-retours entre leur discipline « mère » et la discipline « extérieure ».

« Il n'est donc pas sans intérêt ici de souligner que, dans la pratique, le travail scientifique n'a nullement le culte de la discipline, terme au demeurant d'un emploi souvent abusif et peu rigoureux : il la divise autant que de besoin en spécialités qu'il recombine en sautant même les frontières disciplinaires quand cela s'avère nécessaire pour faire avancer la recherche ». (Jolliveta & Legay, 2005)

Dans la même veine, Edgar Morin avance le besoin du « « métadisciplinaire », le terme « meta » signifiant dépasser et conserver. On ne peut pas briser ce qui a été créé par les disciplines ; on ne peut pas briser toute clôture, il en est du problème de la discipline, du problème de la science comme du problème de la vie : il faut qu'une discipline soit à la fois ouverte et fermée » (Morin, 1994). L'histoire des disciplines, ce n'est donc pas juste la mise en place d'un système cadré et encadré, mais aussi l'opportunité de dépasser ce cadre, d'aller voir au-delà de sa discipline d'inscription, de créer des ruptures, des empiètements pour comprendre un problème, de faire émerger des disciplines hybrides : « autrement dit, si l'histoire officielle de la science est celle de la disciplinarité, une autre histoire liée et inséparable, est celle des inter-trans-polydisciplinarités » (Perrig-Chiello & Darbellay, 2004).

Définir l'interdisciplinarité comme choix méthodologique

Nous continuons donc le développement de nos propos à travers la définition de la notion d'interdisciplinarité. Comme indiqué précédemment, c'est l'arrivée sur le devant de la scène d'un objet d'étude complexe, qui permet le franchissement des frontières disciplinaires. L'objet d'étude devient un vecteur, reliant des disciplines entre elles. Les connaissances exclusives sont dès lors partagées, expliquées, transférées. L'objet d'étude se place dans l'interstitiel (le « *inter* ») de cet espace, là où se joue la création de liens divers entre plusieurs disciplines et les chercheur·es acteur·es de ces disciplines. Ces liens peuvent être de nature idéologique, méthodologique, mais aussi des compétences et pratiques diverses, etc. Ils relèvent souvent finalement de simples relations humaines (cf. figure 14).

Si la figure 14 schématise la reliance, c'est-à-dire l'acte de créer des liens, entre deux disciplines. Dans les faits, autant de disciplines que souhaité peuvent travailler communément sur un objet de recherche. Le nombre des interactions dépend des objectifs mobilisés par un programme de recherche ou des savoirs nécessaires pour mieux appréhender l'objet d'étude. La reliance alors se fait grâce à l'objet d'étude en commun entre les disciplines, pouvant incarner des connexions variées, telles que des liens interpersonnels, des partages de concepts, de méthodologies, d'outils analytique, etc.

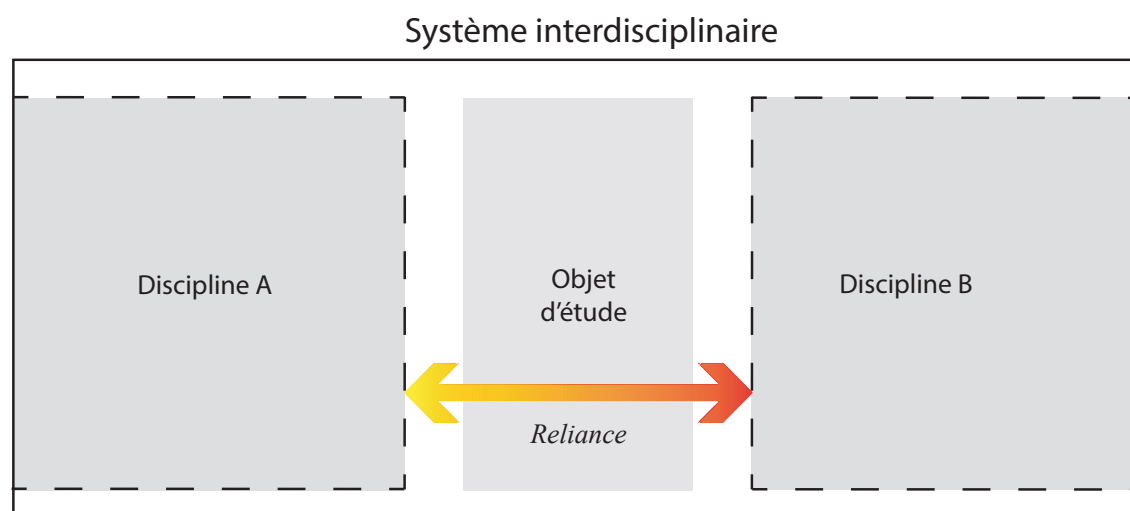


Figure 14 : Schématisation du système interdisciplinaire

Dans la pratique, l'interdisciplinarité prend différentes formes et donne à voir le niveau de liens créés (Piaget, 1972). Certains spécialistes de l'interdisciplinarité ont hiérarchisé les formes qu'elle prenait et les facteurs explicatifs à réaliser de telles études. Ainsi, des classifications (OCDE, 1972 ; National Academies of Science, 2004) et des taxonomies (Thompson Klein, 2011) ont vu le jour. Le rapport de l'OCDE⁷⁵ de 1972 définit l'interdisciplinarité comme l'intégration de concepts et de méthodologies issus de plusieurs disciplines. Le terme intégration n'est pas choisi au hasard, il est bien précisé qu'il est préféré à la simple juxtaposition. Cela montre que les interrelations sont au centre de toutes démarches interdisciplinaires. Ainsi, un dualisme (Laflamme, 2011) apparaît entre

⁷⁵ OCDE, 1972. Interdisciplinarity: Problems of teaching and research in universities. Paris, 321 pages

l'interdisciplinarité, qui intègre plusieurs disciplines, et la monodisciplinarité, qui favorise l'usage d'une discipline unique.

Il est également précisé que l'interdisciplinarité est faite pour résoudre, ou du moins mieux saisir, les problématiques de la société, qu'elles soient environnementales, sanitaires, technologies, etc. Le rapport du *National Academies of Science* (2004), renchérit sur ces contextes particuliers qui induisent une interdisciplinarité. Quatre facteurs sont identifiés : 1) la complexité inhérente de la nature et de la société ; 2) le désir d'explorer des problèmes et des questions qui ne se limitent pas à une seule discipline ; 3) la nécessité de résoudre des problèmes sociétaux ; 4) la puissance des nouvelles technologies. S'il peut être vu d'un bon œil que la recherche s'intéresse de plus près aux bouleversements sociétaux, cela interroge surtout les implications de la société industrielle qui est à l'origine de ces problématiques environnementales et sociétales. Une société qui, depuis les années 1970, est bien au fait de l'urgence écologique, mais qui est toujours emprise de croissance économique-matérielle dévastatrice pour les milieux naturels et les êtres vivants (Durand & Keucheyan, 2024). Ces éléments contextuels sont importants puisqu'ils nous renseignent sur ce qui est à l'origine des recherches interdisciplinaires modernes. L'entrelacement de phénomènes complexes vient impacter de façon multiple la recherche et apporte de nouveaux questionnements nécessitant parfois une interdisciplinarité. Si les réponses aux problèmes posés ne sont pas résolues par une discipline, la solution peut arriver par une autre discipline ou à l'intersection entre disciplines. Comme un préalable à la pratique interdisciplinaire, il faut que la discipline accepte de s'ouvrir à d'autres connaissances et d'interagir avec d'autres spécialistes, toujours dans le but de mieux comprendre, mieux appréhender le monde qui nous entoure.

Malgré les objectifs clairs de tendre davantage vers un système qui développe les études interdisciplinaires, il y a plusieurs significations à l'interdisciplinarité, créant parfois la confusion autour de cette notion. Elle peut englober toutes les formes existantes de pluri, multi, inter, poly et transdisciplinarité (cf. figure 15). Elle représente alors simplement la pratique et le fait de réaliser une étude entre plusieurs disciplines. Celle-ci peut se faire sous la forme de « proximité » (Jolliveta & Legay, 2005), que l'on pourrait aussi qualifier d'ordinaire puisqu'elle est largement répandue et s'opère par l'association de disciplines proches. Cette collaboration ne pose pas de souci épistémologique ou méthodologique majeur. L'interdisciplinarité peut également être « élargie », « étendue » ou « radicale » (Molina, 2015), quand les disciplines associées sont éloignées les unes des autres (par exemple entre sciences sociales et sciences de la vie), quand des obstacles d'ordre cognitifs apparaissent. Cette pratique radicale permet toutefois aussi d'explorer des pistes nouvelles.

Par ailleurs, l'interdisciplinarité ne permet pas simplement d'associer des chercheur·es d'horizon divers comme le ferait la pluridisciplinarité, juxtaposant des savoirs et des compétences. Il s'agit bel et bien d'un enrichissement mutuel où les participant·es s'ouvrent à de nouveaux enseignements et apprennent les un·es des autres (Gusdorf, 1990). Edgar Morin, parle d'une pratique organique (Morin, 1994), induisant une expérience propre aux individus, aux échanges créés et aux fonctionnements établis. Au-delà de la coopération, la polydisciplinarité est, elle, engagée lorsque des disciplines se retrouvent autour d'un projet ou d'un objet d'étude commun (Morin, 1994). Enfin, la transdisciplinarité, généralement désignée comme le but ultime, mais difficilement atteignable, porte l'idée de la transcendance, soit un dépassement total des approches.

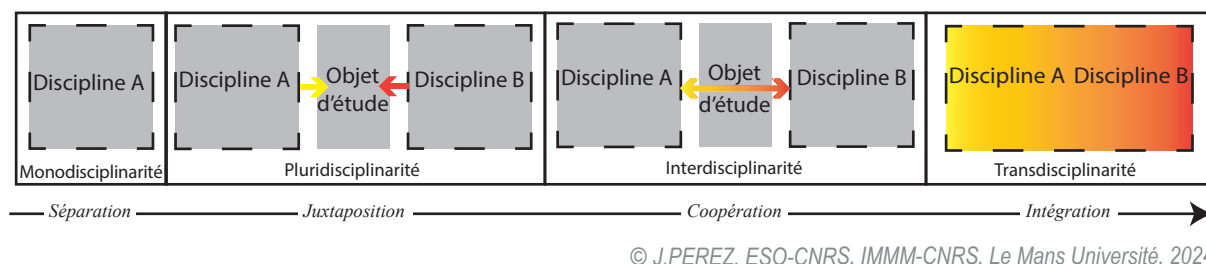


Figure 15 : Les différentes formes interdisciplinaires

Ainsi, l'interdisciplinarité englobe une multitude de significations, le préfixe d'« inter » évoquant des degrés d'interaction différents. Toutes pratiques interdisciplinaires sont cruciales pour développer une connaissance en mouvement (*cf.* encadré 8). Le défi majeur réside plutôt dans la compréhension entre disciplines. L'interdisciplinarité demande de découvrir une méthode nouvelle, un langage spécifique ainsi que des concepts fondamentaux qui ne peuvent être facilement traduisibles et compréhensibles d'une discipline à l'autre. La communication est donc primordiale pour échanger, s'écouter et se comprendre. L'interdisciplinarité n'est pas une course à la production de savoirs nouveaux, ou encore une façon en vogue de faire de la recherche. Elle n'est pas non plus en compétition avec les études purement monodisciplinaire. L'interdisciplinarité a pour but d'accroître, et même, dans certains cas, de créer ou de recréer, les liens entre disciplines et entre les chercheur·es. Le résultat compte beaucoup moins que la progression vers l'intégration des savoirs.

Encadré 8 : Forme d'interdisciplinarité développée dans cette thèse

La thèse développée ici relève à la fois de la polydisciplinarité et de l'interdisciplinarité éloignée. Nous le répétons, là où les limites disciplinaires se dessinent, « l'inter », le lien entre les disciplines peut se nouer. Ce lien s'est manifesté dans notre cas par notre objet d'étude en commun, qui est la matière plastique. Le géographe rudologue regarde les sociétés sous le prisme de la spatialité et des rapports sociaux liés à leur matérialité, pendant que le chimiste s'intéresse aux propriétés chimiques de cette matérialité et leur devenir. En se rencontrant, ils peuvent analyser ensemble la réalité physique et sociétale des déchets plastiques.

La cohésion a été possible par l'établissement d'un espace nouveau où l'objet de recherche était investigué à la fois distinctement à travers chacune des disciplines et entre elles en intégrant les diverses cultures disciplinaires acquises. L'interdisciplinarité se retrouve dans l'interculturalité (Laplace, 2014) dans la mesure où elle implique une interaction entre des cultures disciplinaires différentes. Nous sommes effectivement engagés dans une démarche de recherche qui consiste à méthodiquement assembler des connaissances, des questionnements et des méthodes de travail provenant de ces deux disciplines éloignées. Il ne s'agit pas d'une simple juxtaposition des disciplines, mais bien d'un véritable dialogue et d'une coopération entre elles. L'interdisciplinarité est le socle de cette thèse, qu'il a fallu construire en gardant à l'esprit ma discipline d'origine, la Géographie sociale, tout en créant des interactions et des collaborations passionnantes avec la Chimie de l'environnement.

L'interdisciplinarité a été primordiale, pour mener à bien notre étude. Cette approche s'est construite sur la durée de ce doctorat, par le partage de connaissances, de lectures, d'expériences, de méthodes ou encore de simples discussions quotidiennes et de moments conviviaux. Les apports de chacun·e ont généré des points de vue riches sur le travail mené, demandant d'adopter un nouveau regard et d'assimiler de multiples savoirs.

Le métabolisme et l'interdisciplinarité comme outils pour comprendre les systèmes complexes

Les systèmes complexes, qu'ils soient physiques, biologiques, territoriaux ou sociaux, sont par nature intrinsèquement multifacettes et interconnectés - « le système complexe étant composé de sous-systèmes qui, à leur tour, ont leurs sous-systèmes, et ainsi de suite⁷⁶ » (Simon, 1962). Les systèmes complexes, caractérisés par des interactions dynamiques et non linéaires entre leurs composantes, trouvent une application pertinente dans les études du métabolisme territorial. Le métabolisme territorial analyse les flux de matières et d'énergie dans un territoire, examinant comment les ressources sont extraites, transformées, consommées et rejetées. En abordant ces flux sous l'angle des systèmes complexes, on peut mieux comprendre les interactions entre les différentes parties prenantes et les infrastructures d'un territoire ou entre territoire. Cette perspective permet de dévoiler une approche holistique que nous développerons particulièrement ici, car comprendre ces interactions demande la mise en place d'interdisciplinarité. Nous verrons que deux écoles de pensées des études métaboliques, l'écologie territoriale et la *Political Industrial Ecology*, se saisissent de l'interdisciplinarité et de méthodologie combinant étude quantitative et qualitative pour appréhender les dynamiques complexes qui caractérisent les flux matériels et immatériels entre les infrastructures urbaines, les systèmes écologiques et les activités humaines.

Les systèmes complexes appréhendés par l'interdisciplinarité

À une époque où les objets de recherche sont façonnés par des défis d'une grande ampleur, marqués par l'incertitude et une forte interconnexion - qu'il s'agisse du changement climatique, des pandémies ou de la gestion des ressources - les approches traditionnelles, cloisonnées par discipline, peinent à fournir des réponses globales. Nous verrons que, pour appréhender de telles problématiques, une approche interdisciplinaire s'impose. Celle-ci permet de porter un regard sur la complexité. L'articulation entre complexité et interdisciplinarité soulève ainsi des enjeux de mise en relation de liens matériels et immatériels, particulièrement saillants dans les études métaboliques. Nous proposons d'explorer ces enjeux à travers l'analogie du passage de la boîte noire à la boîte holistique.

Complexité et interdisciplinarité

L'objectif, ici, n'est pas de rentrer dans les théories de la complexité, ou encore de retracer l'historique de cette notion. Bien des chercheur·es spécialistes, comme Von Neumann (1996), Edgar Morin (1994 et 2005), et tant d'autres l'ont théorisé, pensé et analysé et continuent d'investiguer ce champ. Ici, nous recherchons plutôt à présenter les raisons qui font que l'interdisciplinarité et la complexité sont indissociables. C'est à partir des années 1990 (Louvel, 2015) que l'interdisciplinarité est considérée comme essentielle pour aborder la complexité des défis rencontrés, particulièrement dans les domaines de l'environnement, de la santé, de l'alimentation et des nouvelles technologies. L'association fréquente de la complexité et de l'interdisciplinarité n'est pas une coïncidence, car les systèmes et phénomènes complexes sont une condition nécessaire aux études interdisciplinaires (Newell, 2001). En d'autres termes, seule l'étude d'un système complexe justifie une approche interdisciplinaire. Mais comment définir un système complexe ?

76 Traduit de l'anglais : « the form of hierarchy-the complex system being composed of subsystems that, in turn, have their own subsystems, and so on. » (Simon, 1962)

Chapitre 3 - Une approche interdisciplinaire pour investiguer les déchets plastiques

Les termes de « complexité » et de « système complexe » renvoient à quelque chose de non saisissable au premier abord, qui demandera un temps long d'étude, des explications entremêlées et de multiples connaissances pour en saisir les contours et le fonctionnement. Cela désigne quelque chose de non simple, qui ne peut pas être rendu à l'essentiel sans que cela signifie faire abstraction de l'ensemble, de la forme et du fond des interactions multidimensionnelles du système. La complexité ne peut être comprise par une seule personne. Ceux qui s'intéressent à la théorie de la complexité, définissent la complexité par son étymologie latine : « cum et plexus signifient respectivement « avec » et « tissu ». Ainsi, ce qui est complexe est caractéristique de ce qui est « tissé ensemble et qui ne peut pas être décomposé sans être dénaturé » (Li Vigni, 2015). C'est un ensemble, un système, dont les parties ne peuvent être détachées les unes des autres. La complexité peut aussi être définie de manière mathématique ; dans ce sens, Edgar Morin dit que c'est « un phénomène quantitatif, l'extrême quantité d'interactions et d'interférences entre un très grand nombre d'unités » (Morin, 2005). Il ajoute que la complexité c'est aussi des « incertitudes », des « indéterminations », des « phénomènes aléatoires ». Il s'agit donc d'un phénomène répété, difficilement saisissable et comportant une part de « hasard ».

Les systèmes complexes présentent des facettes diverses et multiples. Ainsi, les chercheur·es, selon leur origine disciplinaire, se concentrent uniquement sur l'une des facettes (qui représente en réalité un sous-système). Or, ce focus ne permet pas d'avoir accès à une compréhension globale de l'ensemble du système, rendant partiels la compréhension et le comportement du phénomène, des relations entre les différents sous-systèmes, de l'organisation et de la complexité du système étudié. Le passage du disciplinaire à l'interdisciplinaire est alors intéressant pour étudier de tels phénomènes, car, une telle approche tire des enseignements des disciplines et les intègre pour comprendre le système complexe de manière globale (Newell, 2001). L'objet d'étude complexe, ne peut donc se détacher des études interdisciplinaires, dont il est le faire-valoir, la justification à entreprendre une telle recherche, uniquement à condition que cet objet représente un système. L'objet de recherche est le sujet, le matériau, sur lequel les chercheur·es portent toute leur attention. Ses recherches, ses résultats et la production de connaissance associée viendront de l'étude de cet objet.

Les objets d'études sont divers : certains sont exploités particulièrement par une discipline, d'autres sont étudiés sous des angles différents par plusieurs disciplines, d'autres enfin représenteront un système complexe et demanderont une approche interdisciplinaire. La complexité inhérente à chaque sujet ou objet nécessite que le chercheur adopte une perspective holistique. Un objet est examiné à travers le prisme de la position du chercheur, laquelle influence son observation. Se confiner à une seule perspective revient à restreindre non seulement l'observation, mais également la compréhension de cet objet (Hibert, 2004). Si l'objet d'étude complexe amène irrémédiablement à développer une approche interdisciplinaire, les couples disciplinaires qui se formeront peuvent eux aussi amener de la complexité, chacune avec ses propres concepts, langages et méthodes distincts. Cela soulève l'importance de favoriser un dialogue efficace entre les disciplines, afin de ne pas bloquer la compréhension du problème aux multiples facettes. Accepter aussi « l'incomplétude et l'incertitude », « le flou », « l'imprécision », « l'inachèvement » (Morin, 2005) est nécessaire, car l'interdisciplinarité n'est pas une approche miracle, capable de tout comprendre de la complexité. Elle n'est pas là pour tout couvrir, tout savoir, tout révéler. Rendre compte d'une part du complexe, du désordre observé par l'association disciplinaire, est déjà un enjeu. En somme, l'interdisciplinarité permet simplement de mieux appréhender les systèmes complexes (Hibert, 2004), de réfléchir à un impensé, un sujet n'appartenant à aucune discipline, mais pouvant être regardé par toutes.

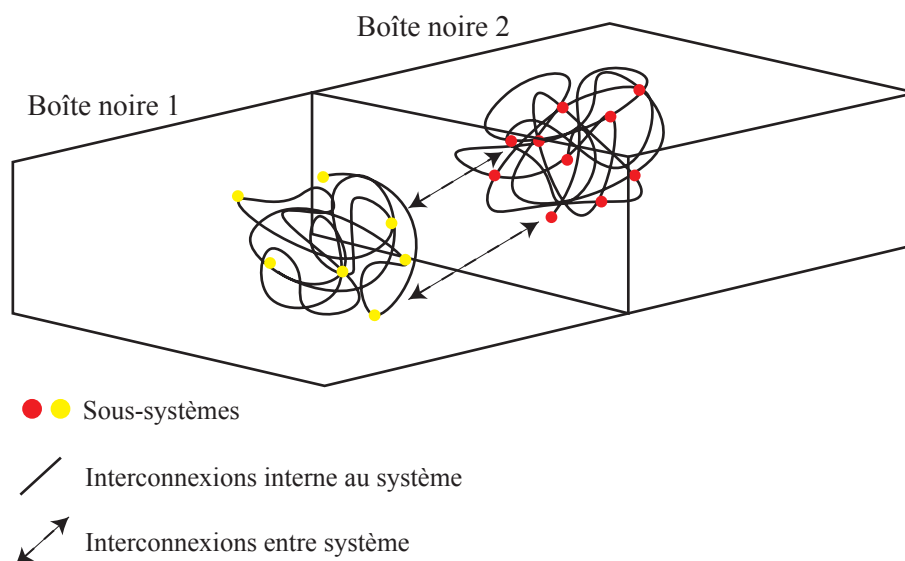
Analogie de la « boîte noire »

La notion de système complexe est fortement utilisée dans les études métaboliques. Il s'agit d'identifier et analyser ce qui se passe dans un système territorial donné, soit en regardant les rapports entre acteurs, les circulations des flux, les techniques et infrastructures présentes. Le résultat est souvent univoque, les interactions sont complexes et s'imbriquent entre gouvernance, ressources naturelles et matérielles. Seulement, pour porter cet état de fait, il faut oser dépasser le principe de la boîte noire qui s'intéresse uniquement aux entrées (inputs) et aux sorties (outputs) du système. Porter ce regard, c'est faire fi de ce qui se passe à l'intérieur, donc faire fi de l'ensemble des dynamiques. Dans le cas de ces études, c'est la méthode Eurostat, une méthode dite descendante (Buclet et *al.*, 2015) utilisant des données globales sans détails sur leurs activités et dynamiques. Un autre outil, le Materiel Flow Analysis (MFA), qui quantifie en unités de masse, généralement en tonnes (t), tous les matériaux qui circulent sur un territoire donné, permet d'ouvrir la boîte noire (Durand et *al.*, 2016). Il favorise la compréhension des processus physiques au sein des activités humaines : extraction de matières premières, agriculture, industrie, passant par la production et la consommation des biens, allant jusqu'aux rejets, tels que les déchets et les émissions atmosphériques (Bao et *al.*, 2010).

À l'image de la boîte noire utilisée par le concept du métabolisme urbain, nous osons une analogie, présentant l'interdisciplinarité comme un outil pour ouvrir et relier plusieurs boîtes noires (systèmes) et flux internes (sous-systèmes). Chaque boîte serait un système disciplinaire donné et, si nous choisissons d'ouvrir plusieurs boîtes en même temps et de les unir, nous pourrions entrevoir une interdisciplinarité représentée par l'ensemble des flux qu'elle crée (savoirs, relationnels, matériels, méthodologies, etc.). Regarder les dynamiques internes des boîtes et regarder entre les boîtes demande des compétences de disciplines diverses ; l'interdisciplinarité est donc primordiale pour les mettre en dialogue et tendre vers une approche systémique plus intégrée et complexe.

En fonction du problème soulevé et du type d'approche interdisciplinaire choisie, des sous-systèmes se lient, interconnectés entre plusieurs systèmes et/ou sous-systèmes. Prenons, par exemple, les plastiques, qui sont des objets d'étude complexes, analysés sous des angles divers (pollution, déchet, santé, etc.) par de nombreuses disciplines (chimie, biologie, physique, anthropologie, géographie, sociologie, écotoxicologie, etc.). Le système des plastiques contient de multiples sous-systèmes, mais il peut aussi représenter un sous-système d'un système plus global, par exemple, faisant partie du système de l'industrie fossile. Ainsi, à l'image d'un mur de brique, chaque brique représente une boîte noire qui est liée sur l'ensemble de ses faces à d'autres briques, d'autres boîtes. Les interconnexions créées par un objet d'étude en commun incarnent ici la colle qui permet leur reliance.

Pour illustrer nos propos entre et inter boîte noire, nous proposons une illustration (*cf.* figure 16) de ce que nous nommons la boîte holistique précédant et s'inspirant du concept de la boîte noire.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 16 : La boîte holistique

La conceptualisation de la boîte holistique permet de représenter des interconnexions entre sous-systèmes. Ces interconnexions contribuent à développer une meilleure compréhension de l'objet d'étude qui relie des disciplines entre elles. La boîte holistique est considérée ici comme un ensemble, un « tout », regroupant des sous-systèmes créateurs de multiples liens, tant matériels (documentations, locaux, infrastructures, machinerie, etc.) qu'immatériels (savoir-faire, relationnel, etc.), permettant d'appréhender et de structurer l'interdisciplinarité en jeu. Si nous choisissons de nous intéresser de plus près aux dynamiques des liens créés, les deux boîtes noires s'effaceront pour laisser apparaître plus qu'un amas de liens entremêlés venus de divers endroits. De sous-systèmes distincts, nous assistons à la formation d'un sous-système unifié et complexe ; de disciplines éloignées, nous entrons dans l'interdisciplinarité ; du fragmenté, nous glissons vers l'unifié.

Des approches métaboliques pour comprendre les transformations de systèmes sociotechniques complexes

Les approches métaboliques offrent une perspective fascinante pour analyser les transformations des systèmes sociotechniques complexes. En étudiant les flux de matière et d'énergie au sein des systèmes sociotechniques, ces approches permettent de comprendre comment les interactions entre les activités humaines et les écosystèmes façonnent les dynamiques environnementales et sociales. En examinant les circulations des flux et leurs dynamiques, les chercheur-es peuvent identifier les mécanismes sous-jacents aux transformations des systèmes, mettant en lumière les liens entre la production, la consommation et les conséquences écologiques et sociales. Cette approche holistique favorise une compréhension plus profonde des défis auxquels sont confrontées les sociétés.

L'interdisciplinarité dans les études du métabolisme territorial

Le métabolisme est un objet de recherche académique utilisé pour étudier l'empreinte matérielle des territoires à travers l'étude des flux, des infrastructures et des acteurs. Ce cadre conceptuel est mobilisé par des écoles de pensée d'écologies scientifiques « cloisonnées » (Bahers, 2021), produisant des études

métaboliques dispersées (Barles & Bahers, 2019) et aux approches théoriques et méthodologiques distinctes. Trois écoles mobilisant le métabolisme urbain ; *Industrial Ecology* (IE) (Ayres & Ayres, 2002, Clift & Druckman, 2015), *Urban Political Ecology* (UPE) (Heynen et al., 2006, Smith, 2008, Erneston & Swyngedouw, 2019) et la *Social Ecology* (SE) (Bookchin, 1990, Haberl et al., 2016) partagent une préoccupation commune pour les interactions entre les activités humaines et l'environnement, mais chacune met l'accent sur des aspects spécifiques et propose des approches différentes pour aborder les défis environnementaux et sociaux. S'il existe bel et bien ce clivage, il est intéressant de remarquer que l'interdisciplinarité se joue à l'intérieur des écoles de pensées (par la composition variée des chercheur·es et de leur parcours personnel), mais non entre elles. Le métabolisme est ainsi qualifié d'« objet frontière » (Newell & Cousins, 2015), laissant la possibilité aux chercheur·es d'explorer les tensions et les divergences entre les différentes approches épistémologiques, méthodologiques et cadres conceptuels dans l'étude du métabolisme urbain. Il est ainsi soulevé que chacune des trois écoles développe un regard parcellaire (Newell & Cousins, 2015) sur le métabolisme urbain, fournissant une analyse spécifique, peu intégrative et systémique. Par exemple, l'*Industrial Ecology* se concentre sur la modélisation quantitative des interactions entre les process industriels et l'environnement (Graedel & Allenby, 2009). Pour ce faire, l'utilisation des outils de l'analyse du cycle de vie (ACV) et du MFA sont mobilisés pour réaliser des symbioses industrielles (échanges de flux). A contrario, les chercheur·es de l'*Urban Political Ecology*, ne mobilisent pas de données quantitatives, mais vont plutôt réaliser un métabolisme social en examinant les relations complexes entre les dynamiques sociales, politiques et environnementales. Cette école de pensée met l'accent sur les inégalités sociales et environnementales dans les villes (Erneston & Swyngedouw, 2019), en regardant comment les politiques urbaines, la gouvernance et les processus de prise de décision influencent la répartition des ressources et les impacts environnementaux. Enfin, l'*Urban Political Ecology*, est considérée comme politisée et soulevant des questionnements complexes en lien avec les aspects de pouvoir, d'inégalité et d'idéologie, contrairement à l'*Industrial Ecology* qui met surtout l'accent sur l'optimisation des processus industriels (Ayres & Ayres, 2002) sans les remettre en causes (Bahers, 2021).

Du côté de la *social ecology*, développée depuis les années 1990 par l'Institut d'écologie sociale de Vienne, elle analyse les interrelations entre la société et la nature par le concept du métabolisme social (Fischer-Kowalski & Weisz, 2016). Celui-ci est par définition interdisciplinaire, puisqu'il « invite à une analyse biophysique des sociétés : comme tout organisme, une société dépend d'intrants de matière (ressources naturelles et biens de consommation) et d'énergie pour se reproduire dans le temps. Le métabolisme social adapte ainsi une notion courante de biologie afin de lui octroyer une lecture proprement sociologique » (Ouellette, Bédard, Beaucaire, 2023). Les chercheur·es de cette école revendiquent son ancrage interdisciplinaire, à la croisée des sciences sociales et des sciences naturelles. Ils·elles vont même jusqu'à recourir à une métaphore pour illustrer l'interdisciplinarité qui caractérise la *social ecology* : « nous utilisons la métaphore d'un archipel pour décrire la social ecology comme étant située entre le continent des sciences naturelles et de l'ingénierie d'un côté et le continent des sciences sociales et humaines de l'autre »⁷⁷ (Fischer-Kowalski & Weisz, 2016). Ce positionnement s'inscrit dans un paradigme commun permettant le développement interdisciplinaire de leur domaine de recherche : « les axiomes fondamentaux de ce paradigme sont que les systèmes sociaux et naturels interagissent, coévoluent dans le temps et ont des impacts substantiels les uns sur les autres. Il découle

⁷⁷ Traduit de l'anglais : « We use the metaphor of an archipelago to describe Social Ecology as situated between the mainland of the Natural Sciences and Engineering on the one side and the mainland of the Social Sciences and the Humanities on the other side. » (Fischer-Kowalski et Weisz, 2016)

Chapitre 3 - Une approche interdisciplinaire pour investiguer les déchets plastiques

de ce paradigme la nécessité de développer des concepts et des méthodes qui nous permettent d'aborder les structures et les processus sociaux et naturels sur un pied d'égalité épistémologique »⁷⁸ (Fischer-Kowalski & Weisz, 2016).

Chacune d'elles développe une vision spécifique du métabolisme urbain qui a des limites, car ne regardent qu'une partie des facettes d'un système complexe, dissimulant les autres et les interactions entre elles. Si le regard interdisciplinaire existe dans chacune des approches du métabolisme, celui-ci n'est toutefois jamais exhaustif, privilégiant chaque fois l'une ou l'autre des entrées.

Au-delà de ces trois écoles, deux autres, dites « émergentes » (Bahers, 2021), très proches l'une de l'autre, allient une approche quantitative et qualitative des flux. Elles réalisent une extension des études de flux physiques en intégrant des approches qualitatives, afin de comprendre les dynamiques qui sous-tendent ces flux de matières. Ces deux écoles sont l'écologie territoriale (ET) (française) (Buclet, 2015, Barles, 2017) et la *Political industrial Ecology* (PIE) (Breetz, 2017, Pincetl & Newell, 2017). Ces champs disciplinaires ambitionnent notamment de comprendre les jeux de pouvoir liés aux flux métaboliques (Bahers, 2023), de révéler les « flux cachés » (Baka, 2017), d'identifier des dysfonctionnements, de mettre en évidence des dépendances entre les territoires et de visualiser les échanges de ressources à différentes échelles géographiques (Billen, Garnier, Barles, 2012). Toutes deux sont à l'origine issues d'autres écoles du métabolisme, dont elles s'inspirent tout en s'en détachant pour explorer leurs propres perspectives. Leur approche est de fait interdisciplinaire et inductive.

La PIE provient d'une fusion entre *Industrial Ecology* et *Urban Political Ecology* afin de développer une « conceptualisation plus riche, plus profonde et politiquement engagée de l'urbain »⁷⁹ (Newell, Cousins, Baka, 2017). Elle a été développée par des chercheur·es géographes et écologistes-politiques formées aux techniques d'évaluation environnementale (Bahers, 2021). « Il s'agit d'utiliser les méthodes quantitatives issues de l'écologie industrielle et de l'écologie sociale, pour alimenter une critique radicale des processus métaboliques en termes d'écologie politique urbaine. La compréhension du métabolisme urbain de l'écologie politico-industrielle atteint ce stade en combinant un appareil marxiste étoffé, qui associe les dynamiques socio-politiques et des approches méthodologiques largement qualitatives et spatialisées en révélant les flux « cachés » de la consommation matérielle et énergétique. Il s'agit donc bien de territorialiser le métabolisme urbain, afin par exemple de montrer les relations d'impacts en termes d'injustice environnementale et sociale » (Bahers, 2021). L'écologie territoriale s'est, elle, inspirée de l'*Urban Political Ecology* tout en se construisant indépendamment de ce champ dans les années 2000 (Verhaeghe, 2021), pour arriver à une identité thématique proche de la PIE. L'écologie territoriale s'est essentiellement développée dans un contexte francophone. Ce champ interdisciplinaire « vise à mieux établir et comprendre les relations entre les activités humaines et les écosystèmes naturels par une approche systémique et essentiellement matérielle de ces relations » (Buclet, 2015).

78 Traduit de l'anglais : « The core axioms in this paradigm are that human social and natural systems interact, coevolve over time and have substantial impacts upon one another. What follows from this paradigm is a need to develop concepts and methods that allow us to address social and natural structures and processes on an equal epistemological footing. » (Fischer-Kowalski et Weisz, 2016)

79 Citation originelle en anglais (Newell, Cousins, Baka, 2017) : « They argue that the melding of these ecologies to form political-industrial ecology will yield a richer, deeper, and politically-engaged conceptualization of the urban. »

Toutes deux démontrent, par une méthodologie mixte, que les faits caractérisés dessinent la physionomie socio-environnementale d'un territoire d'étude, par l'identification et l'analyse des relations interterritoriales (Barles, 2018 ; Bahers, Durand, 2018). D'ailleurs, elles définissent leur approche par une étude des différents éléments qui composent les systèmes sociotechniques et leur transformation. Pour ces deux nouvelles écoles, les systèmes sociotechniques représentent des configurations complexes (Buclet & Donsimoni, 2020) qui résultent de l'interaction entre les processus industriels, les politiques publiques, les pratiques économiques et les dynamiques sociales. Elles ont alors un caractère interdisciplinaire plus poussé que les précédentes, du fait de leur ambition bien plus holistique. Cette ouverture interdisciplinaire, portée à la fois par l'écologie territoriale et la political industrial ecology, constitue un socle fondamental de la démarche de recherche développée ici. En effet, l'analyse des circulations des flux plastiques en France ne peut se réduire à une lecture strictement matérielle. Bien qu'elle s'appuie initialement sur une approche quantitative pour dresser un état des lieux des quantités et des trajectoires de ces flux, elle nécessite également l'identification et l'analyse de leurs dimensions économiques, politiques, territoriales, écologiques et sociales. Ces dimensions émergent des flux eux-mêmes et doivent être prises en compte, car elles complètent et dialoguent avec la quantification. C'est précisément cet entremêlement entre approches quantitatives et qualitatives, ainsi qu'entre lectures disciplinaires diverses, qui permet d'approfondir la compréhension des flux plastiques, en éclairant leurs différentes facettes et en les « reliant ».

C'est dans cette perspective qu'est mobilisée une approche systémique et interdisciplinaire, inspirée de ces courants, afin de comprendre comment les dynamiques de production, de gestion et de régulation des plastiques s'inscrivent dans des configurations sociotechniques complexes et évolutives. Ces écoles de pensée sont particulièrement pertinentes en ce qu'elles portent une attention spécifique « aux conséquences des transformations du métabolisme urbain ou territorial, ainsi qu'aux enjeux liés à sa transition » (Duval, 2025), ce qui constitue précisément l'objectif de cette thèse. Elles privilégient par ailleurs une posture critique et politique, qui cherche à dépasser le caractère purement descriptif des approches quantifiées classiques, « en s'opposant à la tendance de certaines recherches à se conformer aux injonctions dominantes » (Duval, 2025). En conjuguant méthodes qualitatives et quantitatives, ces écoles de pensées permettent un véritable dialogue entre disciplines. Elles rendent aussi possible l'hybridation d'outils d'analyse variés : entretiens, modélisations de flux, analyses spatiales, etc., pour saisir toute la complexité des enjeux liés aux plastiques et appréhender leur inscription territoriale dans une perspective critique.

Les systèmes socioécologiques en transition comme cadre d'étude des plastiques

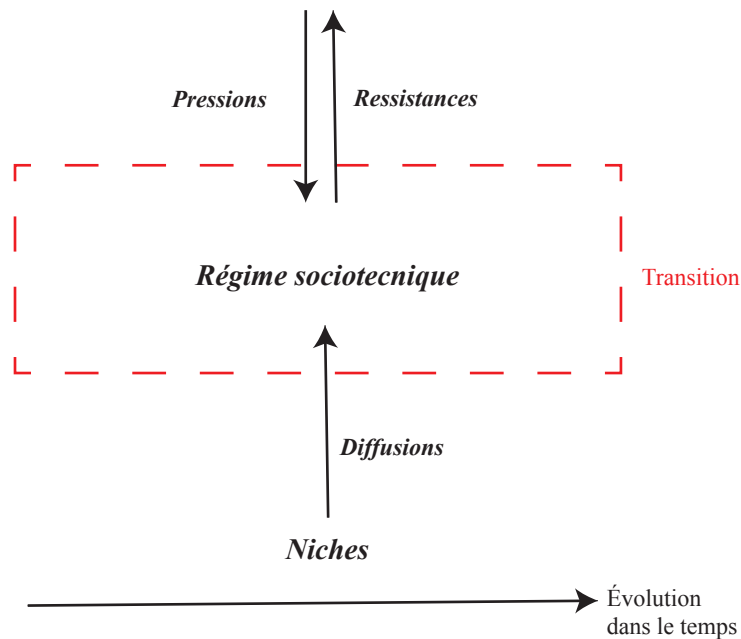
Dans la lignée de ces écoles, nous analyserons le système de gestion des matières plastiques comme un système sociotechnique territorialisé en transition. Cette lecture s'inscrit dans un contexte où les plastiques font l'objet d'une mise en politique (Barthe, 2000) croissante, orientée vers des objectifs de circularité. Pour comprendre les interactions complexes et les répercussions des activités humaines sur les systèmes socioécologiques, les travaux de Frank W. Geels (2002) offrent un cadre d'analyse pertinent. Ce dernier a développé la théorie des transitions multi-niveaux (*Multi-Level Perspective*, MLP), qui examine les transitions sociotechniques à travers trois niveaux, différenciés à la fois par leur temporalité et leur degré de structuration : le paysage (macro), le régime (méso) et les niches (micro). Comme le souligne Bastin (2019), « le temps se décline en plusieurs temporalités : celle ponctuelle des événements, celle longue des institutions

et le temps très long des structures sociales, idéologiques et culturelles. Le degré de structuration désigne l'ensemble des règles, des normes, des réseaux qui influent sur le comportement et les actions des hommes et, inversement, la manière dont ces règles et normes sont influencées par les actions humaines (Raven, Schot, Berkhout, 2012) ». On peut définir ces trois niveaux comme étant : le paysage sociotechnique, qui constitue le contexte global, stable et extérieur au système (comprenant les grandes tendances sociétales, économiques, politiques ou environnementales) ; le régime sociotechnique, qui correspond au système dominant et structurant l'organisation actuelle des pratiques, des technologies, des institutions et des comportements ; et enfin, les niches où des expérimentations d'innovation peuvent émerger et se développer, souvent à la marge du régime dominant, avant de potentiellement s'y diffuser.

Pour les plastiques : à l'échelle du paysage, des facteurs tels que les crises environnementales liées à la pollution plastique, les réglementations internationales ou encore la transition vers une économie circulaire exercent une pression croissante sur le régime dominant. Le régime dominant en place repose principalement sur un système industriel centré sur les plastiques d'origine pétrosourcée, soutenu par des infrastructures de production et de distribution bien établies, ainsi que par des chaînes de valeur dédiées à la gestion des déchets. Malgré les pressions environnementales croissantes, ce régime tend à résister au changement vers davantage de circularité (*cf.* chapitre 7). Enfin, au niveau des niches (*cf.* chapitre 8), on observe le développement d'alternatives aux filières de recyclage conventionnelles, ainsi que la montée en puissance du réemploi, souvent impulsées par des start-ups, des associations ou des projets soutenus par des financements publics.

La chercheuse Marina Fischer-Kowalski explique (Fischer-Kowalski, 2011) qu'un système doit être auto-organisé et suffisamment complexe pour se maintenir dans des conditions changeantes. S'il dépasse certaines limites environnementales, ses principales caractéristiques peuvent changer radicalement, pouvant mener à son effondrement ou à une réorganisation en un nouvel état, ce qui constitue une transition. L'approche qu'elle propose considère la société comme un système en interaction avec les systèmes naturels. Si des changements structurels apparaissent, ces deux systèmes interconnectés se verront transformés. Selon son approche, un régime est enraciné dans un régime dominant⁸⁰ (Fischer-Kowalski, 2011) tout comme dans l'approche de la transition socio-technique qui considère que le paysage représente des influences globales (culturelles, économique, politiques, etc.) qui affectent les régimes sociotechniques composés de structures et d'acteurs. Frank Geels et Johan Schot (Geels & Schot, 2017) mettent en lumière la façon dont les innovations de niche peuvent percer et transformer les régimes établis (*cf.* figure 17) sous certaines conditions, souvent avec l'influence perturbatrice des changements au niveau du paysage. Ils explorent le rôle des divers acteurs (entreprises, gouvernements, utilisateurs, ONG) dans les processus de transition et cherchent à comprendre comment leurs interactions et alignements peuvent influencer les trajectoires de transition.

⁸⁰ Étudié dans le domaine du régime énergétique et de ses transitions.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2025

Figure 17 : Schématisation de la théorie des transitions multi-niveaux appliquée aux plastiques

Ce cadre, combiné à celui du métabolisme territorial, permettra d'examiner la transition en cours du régime des plastiques en France vers un modèle plus circulaire. Dans cette perspective, l'écologie territoriale envisage la transition socioécologique comme un processus de transformation profonde du métabolisme territorial. Le régime dominant, qui s'est « progressivement surimposé au régime socioécologique urbain » (Barles, 2017), est le régime socioécologique industriel qui prend une forme linéaire bien connue - où les ressources naturelles sont extraites, transformées en produits, consommées et finalement rejetées sous forme de déchets, suivant ainsi un flux linéaire du début à la fin du processus. Ce modèle est caractérisé par un usage unique des ressources, une augmentation des flux et des stocks matériels, une production de déchets et de polluants élevés, ainsi qu'une dépendance continue à l'égard de l'extraction de ressources, des territoires extracteurs et producteurs, ainsi que de certaines activités industrielles (industrie pétrolière, agricole, énergétique, etc.). L'enjeu principal pour l'écologie territoriale, afin de transitionner depuis ce régime ayant une vision jetable des ressources, est d'identifier et d'analyser les flux de matières par le prisme de la dématérialisation (Barles, 2014), c'est-à-dire comprendre comment aller vers des sociétés moins consommatrices en matériaux ou, à minima, vers une substitution plus renouvelable de la matière utilisée.

Les deux approches de la PIE et de l'écologie territoriale permettent de comprendre comment les sociétés se meuvent au gré des transitions vécues et des impacts des régimes dominants sur les sociétés humaines et sur l'environnement. Elles permettent, par une identification et une analyse fine des circulations de matières et des jeux d'acteurs et de pouvoirs, de révéler les dynamiques de systèmes socioécologiques et de donner à voir de potentielles pistes de gouvernance des flux et de la justice sociale et environnementale, afin d'orienter vers un possible plus durable et soutenable. Dans cette réflexion conceptuelle, dans le domaine des plastiques, les transformations vers une transition écologique orientée par l'économie circulaire sont en cours, au travers des interrelations entre acteurs.

Bien que le régime socioécologique industriel reste dominant, des mutations commencent à remettre en question la chaîne de valeur en place, depuis la production jusqu'à la gestion des déchets. Les études de la PIE et de l'écologie territoriale, combinant des analyses quantitatives et socio-spatiales, sont essentielles pour explorer le régime socioécologique des plastiques à l'échelle de la France et comprendre comment des changements de pratiques, de la part des acteurs, peuvent favoriser ou non une gestion plus durable de ces matières.

Conclusion partie 1

Cette première partie a permis de présenter les cadres théoriques et contextuels de notre étude, en soulignant la complexité intrinsèque des matières plastiques. Leur grande diversité de formulations, de typologies et de propriétés rend leur gestion particulièrement difficile, notamment en fin d'usage, où cette complexité s'accroît. Nous avons vu que les plastiques sont loin d'être des matériaux aisément recyclables. Non seulement leur recyclabilité est souvent limitée, voire inexistante, mais leur valorisation dépend de l'existence de filières de recyclage plus ou moins développées. Les plastiques ne sont donc ni véritablement « recyclables », ni véritablement « jetables » (Manglou 2024) : ils s'accumulent, persistent, polluent.

Face à cette réalité, les politiques de circularité visant à intégrer les plastiques dans de nouveaux cycles économiques se heurtent à une matière qui, par nature, résiste à ces logiques. Les plastiques ne s'inscrivent pas dans les cycles biogéochimiques naturels, et les filières de recyclage en boucle ouverte prédominent, allongeant artificiellement leur durée de vie sans pour autant garantir leur réelle circularité. Ainsi, les plastiques interrogent en profondeur les politiques de circularisation des flux, qui se basent sur une hiérarchie des modes de traitement général des déchets sans prendre le temps de considérer la nature même des matières plastiques ni les dynamiques des acteurs qui sous-tendent la chaîne de valeur.

Compte tenu de ces éléments et de l'objectif de cette étude, qui est d'identifier et d'analyser la (re) structuration des circulations des plastiques, nous avons choisi d'adopter une approche théorique et méthodologique à la fois interdisciplinaire et métabolique. Cette approche nous permet de considérer les plastiques dans un système sociotechnique complexe en transition. Elle guidera nos analyses des bilans matières (partie 2) ainsi que l'analyse des jeux d'acteurs (partie 3).

Partie 2

Sur les traces des matières plastiques : flux et métabolisme

La réalisation du métabolisme des plastiques en France s'inscrit dans une logique similaire à toute autre étude de métabolisme, où l'enjeu dépasse la simple recherche scientifique (Martial, 2021) pour devenir un levier stratégique essentiel permettant aux pouvoirs publics d'adopter une gestion plus éclairée des matériaux. Cela est d'autant plus pertinent dans le contexte sociétal actuel, où les plastiques suscitent de vives préoccupations tant sur le plan politique qu'économique. Ainsi, l'étude des flux plastiques revêt une importance croissante,⁸¹ car elle permet non seulement de réaliser un état des lieux des quantités mis en jeu dans le système socio-technique du moment, mais aussi de mieux appréhender les dynamiques complexes des flux plastiques dans le but de renforcer la prise de décision en matière de politique environnementale recherchée⁸².

Trois aspects essentiels justifient la réalisation d'un métabolisme détaillé des plastiques dans le contexte français. Premièrement, il est crucial de mieux connaître les flux plastiques dans leurs géographies, en raison des multiples circulations qu'ils empruntent. Les plastiques ne suivent pas un parcours linéaire, mais circulent à travers différentes filières et échelles géographiques. Ces circulations complexes rendent indispensable une analyse géographique fine pour comprendre où, comment, et pourquoi ils se déplacent, s'accumulent ou finissent par s'échapper vers l'environnement. Deuxièmement, comptabiliser les flux plastiques est fondamental pour obtenir une image précise de leur impact ; cette tâche se heurte toutefois à la diversité des sources de données disponibles. Les plastiques proviennent de multiples industries, ont des durées et des gestions en fin de vie différente, ce qui génère une multitude de données fragmentées et parfois contradictoires selon les sources. Enfin, il est essentiel de comprendre la gouvernance des flux plastiques, car celle-ci implique une pluralité d'acteurs, chacun jouant un rôle spécifique dans la chaîne de production, de consommation et de gestion des déchets plastiques, chacun persuadé d'avancer vers une économie plus circulaire en n'ayant finalement qu'une vision partielle sur leur unique segment de la filière. Cette gouvernance multi-acteurs inclut les producteurs de résines, les metteurs sur le marché (producteurs et importateurs), les collectivités locales, les ONG, les consommateurs, les gestionnaires de déchets et les pouvoirs publics. Une meilleure compréhension des interactions et des responsabilités de chacun est indispensable pour analyser les dynamiques de jeux de pouvoir en présence.

Au niveau méthodologique, cette recherche s'inspire de ce qui se fait classiquement pour les études du métabolisme territorial, tout en allant plus loin concernant la finesse des matériaux (différents types de polymères plastiques) identifiés. Le cadre d'analyse, décrit précédemment, permet de développer une méthodologie à la fois quantitative et qualitative afin d'étudier les circulations des flux plastiques

81 Importance soulignée par les acteurs interrogés lors des entretiens de thèse menés de 2022 à 2024.

82 Entretien avec une chargée de mission au sein de la Direction Générale des Entreprises, Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique, juin 2024

et les dynamiques organisationnelles en jeu. Dans un souci de clarté, nous avons fait le choix de distinguer les méthodologies et les analyses quantitatives des méthodologies et analyses qualitatives. Cette deuxième partie de thèse est ainsi consacrée à l'étude quantitative des flux plastiques français, nous permettant de poser un état des lieux matériel des quantités de plastiques produites, importées, exportées, consommées et éliminées en France. Le chapitre 4, consacré aux données quantitatives existantes sur les flux plastiques, viendra dans un premier temps mettre en lumière la nécessité de quantifier ces flux afin de mettre en place des actions politiques, mais aussi privées, ciblées, face à l'ampleur des problèmes environnementaux que posent les plastiques. L'expression de ces données permettra de démontrer qu'elles peuvent être utilisées pour projeter une circularité des plastiques qui n'est pas encore pleinement effective, cachant les lacunes dans la gestion réelle des matières plastiques. Ensuite, ce chapitre présentera la méthodologie employée pour collecter les données quantitatives de flux de plastiques à l'échelle française, qui s'appuie sur des bases de données publiques, des rapports industriels et des sources institutionnelles. Nous constaterons que, bien que la comptabilisation des flux soit une étape incontournable, elle révèle également de nombreuses limites inhérentes à la production et la gestion des données, qu'il est essentiel de prendre en compte. Le chapitre 5 exposera les analyses de cartographie des flux de matières plastiques à l'échelle nationale afin d'analyser les modalités de leur usage. Elles mettent en lumière les secteurs économiques les plus consommateurs de plastiques, les types de polymères les plus utilisés, ainsi que les principales voies de gestion des déchets plastiques. Ainsi, une analyse fine des circulations des matières plastiques sera réalisée.

Cet état des lieux quantitatif constitue une étape indispensable pour identifier les points critiques du cycle de vie des plastiques, notamment en ce qui concerne les fuites vers l'environnement ou les points qui méritent une attention pour avancer dans la gestion de ces matières. Ces résultats seront ensuite mis en perspective, dans la partie 3, en les croisant avec les dynamiques organisationnelles (analyse qualitative), permettant de comprendre les jeux de pouvoirs qui influencent la gestion des plastiques en France et les contraintes à l'accentuation de leur circularisation.

Chapitre 4 : Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Ce quatrième chapitre a pour objectif de présenter la méthodologie quantitative mobilisée pour l'analyse des flux plastiques, développée en détail au chapitre 5.

Dans un premier temps, nous examinerons la manière dont les données relatives aux plastiques sont affichées et diffusées par deux structures : l'une publique et l'autre privée. Nous analyserons leurs modes de présentation, leur évolution graphique au fil du temps, ainsi que les transformations récentes de ces représentations, illustrées notamment par un rapport publié en 2024 par l'État français, qui introduit l'usage d'un diagramme de Sankey. L'objectif sera de comprendre comment les flux plastiques sont mis en forme et quel message ces choix graphiques véhiculent.

Dans un second temps, nous détaillerons les choix méthodologiques ayant guidé notre démarche de recherche. Nous présenterons le processus de collecte des données quantitatives, en précisant les sources consultées, les critères de sélection retenus, ainsi que les limites rencontrées et les ajustements opérés. Cette étape, qui a nécessité de mobiliser et de confronter de nombreuses sources, s'est révélée déterminante pour la réalisation des analyses de flux.

Enfin, dans un troisième temps, nous proposerons notre propre représentation graphique des flux, distincte de celles produites par les deux structures étudiées. Nous l'inscrirons dans la méthodologie des études métaboliques et exposerons les chiffres mobilisés, leurs sources, ainsi que certains calculs d'estimation effectués dans le cadre de cette recherche. Ces éléments ont permis d'élaborer les bilans matières des années 2018 et 2022.

Un affichage des données chaque fois orienté par un projet politico-économique

En France, depuis plusieurs années, une collecte des données quantitatives sur les plastiques est réalisée et consolidée par l'intermédiaire de deux structures fédératrices et reconnues par les acteurs des plastiques⁸³. Ces structures sont l'Agence de la transition écologique (Ademe), l'organisme public qui accompagne les acteurs publics, les entreprises et les citoyens dans la mise en œuvre de politiques et de projets en faveur de la transition écologique, notamment en matière de gestion des déchets, d'énergie, et de lutte contre le changement climatique, ainsi que Plastics Europe, l'association européenne des producteurs de matières plastiques, qui représente et défend les intérêts de l'industrie de production du plastique. L'Ademe, publie depuis 2002 tous les 2 à 3 ans, le rapport intitulé « Bilan National du Recyclage » (BNR, 2020) afin de caractériser les évolutions des chiffres du recyclage au niveau national, par type de matériaux, dont les plastiques. Pour ce faire et, dans le cas précis des plastiques, l'Ademe, fait intervenir deux bureaux d'études⁸⁴ qui recueillent les données auprès des acteurs de la filière. Comme l'Ademe, Plastics Europe s'appuie depuis 15 ans sur un consultant (Conversio) pour mener son étude sur les plastiques au niveau européen. Jean-Yves Daclin, Directeur France de Plastics Europe précise qu'« ils se basent d'abord sur des données officielles, donc typiquement pour la France,

83 Retours soulignés par les acteurs interrogés lors des entretiens de thèse menés de 2022 à 2024.

84 Les bureaux d'études ayant réalisé la partie de l'étude portant sur les plastiques sont RECORD et Bleu Safran (Entretien, ADEME, 2022).

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

il s'agit des données de l'Ademe ou des données des éco-organismes, des données publiées par Citeo, Adivalor⁸⁵, par les différents éco-organismes des DEEE⁸⁶, sur tous les secteurs d'activités les plus officiels qui existent. Et lorsque ces données ne sont pas suffisantes ou lorsqu'il faut donc les compléter, ils font des enquêtes eux-mêmes, donc je crois que, dans leur étude, ils font au moins 300 entretiens⁸⁷ ». Cela impose au bureau d'étude parfois de rechercher des données à l'étranger, avec des difficultés d'accès, puisque chaque pays a ses propres spécificités en termes de périmètre des données collectées, d'organisation des acteurs (notamment ceux qui produisent des données) et dans la prise en compte ou non de tel ou tel flux.

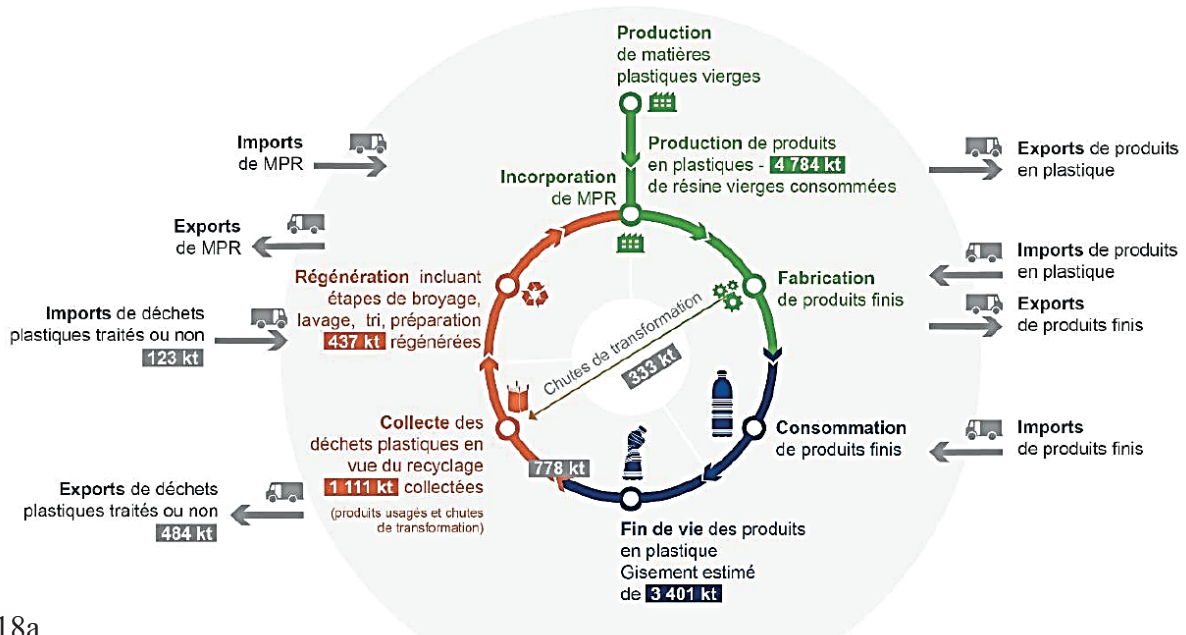
À travers leurs études, l'Ademe comme Plastic Europe illustrent, par des figures, les circulations de flux au niveau national. Leurs graphismes, au mieux, proposent un aspect neutre quant aux quantités de déchets recyclés (l'Ademe), à travers des flèches de taille toujours égale, comme le fait l'Ademe (*cf.* figure 18).

85 Citeo et Adivalor sont des éco-organismes, c'est-à-dire des structures de droit privé agréées par l'État pour prendre en charge la collecte et le recyclage de tous les emballages ménagers (Citeo) et des emballages agricoles (Adivalor), au nom des entreprises « metteurs sur le marché » des biens de consommation.

86 Déchets d'Équipements Électriques et Électronique

87 Entretien avec la direction générale de Plastics Europe France, avril 2023.

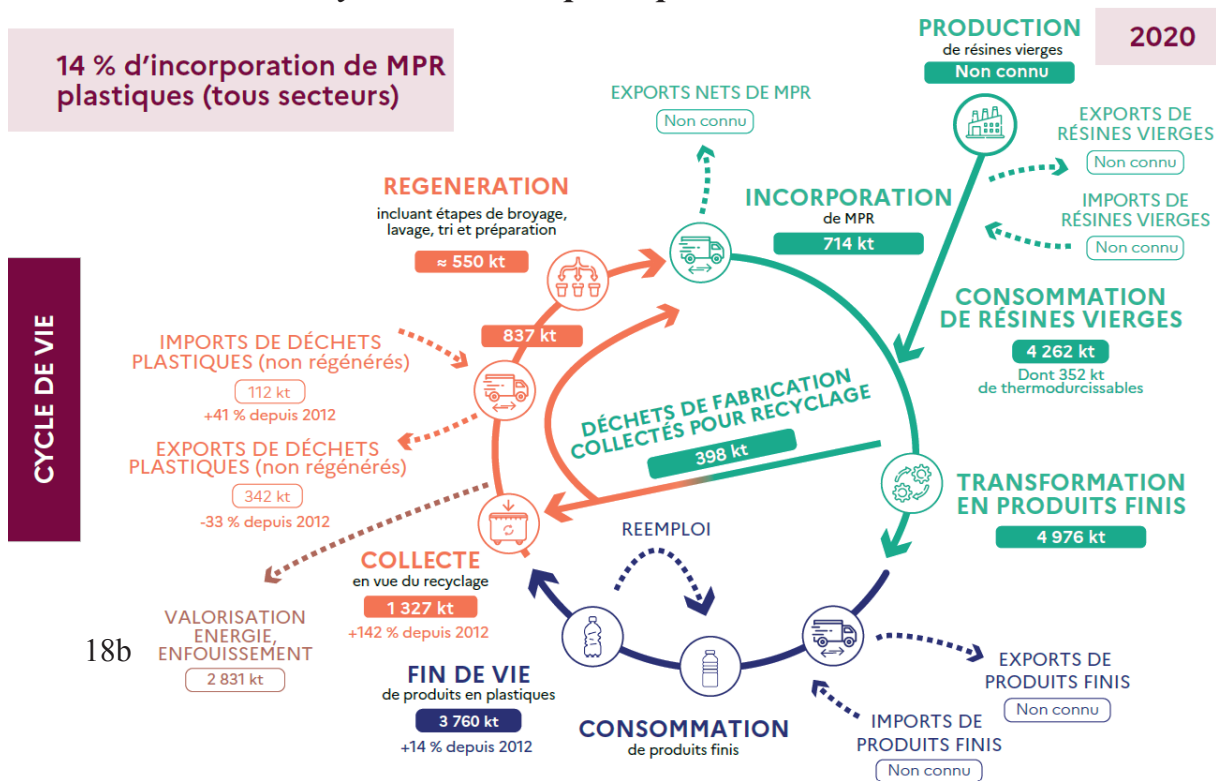
2018 : Cycle de vie des plastiques en France



18a

© ADEME, cycle de vie des plastiques en France, BNR, 2018

2020 : Cycle de vie des plastiques en France



18b

Figure 18 : Représentation des flux plastiques par l'Ademe

Au pire ils induisent en erreur le lecteur, en ayant une production graphique hétérodoxe par rapport aux méthodologies de bilan matière du métabolisme territorial (cf. chapitre suivant), c'est-à-dire qu'ils

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

peuvent représenter les flux par des flèches dont la taille ne revêt aucune proportionnalité avec les quantités réelles, comme le fait parfois Plastic Europe (cf. figure 19).

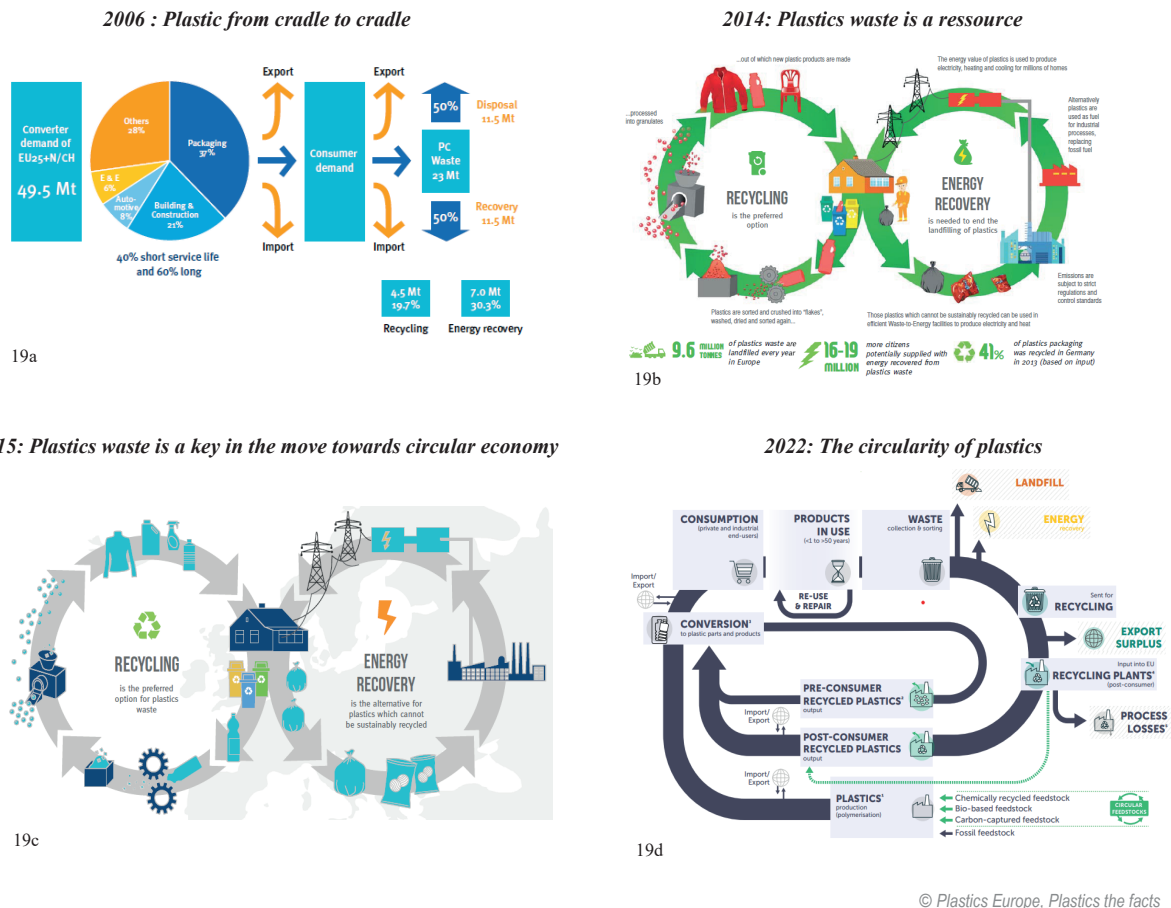


Figure 19 : Représentation graphique des flux plastiques par Plastic Europe

Ce type de représentation a donc une portée performative, puisqu'elle vise avant tout à convaincre le lecteur d'une circularité existante, alors que celle-ci est en réalité, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, toujours en devenir. L'affichage des données publiques sur les plastiques présentées par les illustrations de Plastic Europe (cf. figure 19) et de l'Ademe (cf. figure 18), produit ainsi cet effet visuellement trompeur, puisque la représentation circulaire n'est ainsi pas proportionnelle aux flux réels. L'Ademe met tous les flux sur le même plan (toutes les flèches de la même taille), afin d'éviter toute tension entre acteurs. Si Plastic Europe fait parfois la même chose, il biaise le regard dans sa figure de 2022 (19d) où certaines flèches sont inversement proportionnelles à la taille réelle des flux. Le flux du recyclage (flèches circulaires) y sont ainsi largement les plus grosses, sous-entendant que les flux sont les plus importants, quand, en réalité ce même rapport indique que seuls 330 kt des flux correspondent au recyclage pré-consommation (c'est-à-dire les déchets plastiques générés par l'industrie lors de la fabrication, avant qu'ils n'atteignent le consommateur) et 440 kt au recyclage post-consommation (c'est-à-dire les déchets générés après usage par les consommateurs finaux).

Ce choix, qu'il soit délibéré ou non, ne permet pas au lecteur d'apprécier la réalité des quantités de plastiques circularisés et laisse croire au premier regard à une circularité très aboutie (qui n'est pas

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

réelle). L'objectif de la présentation de ces schémas n'est pas ici de les analyser en détail (le chapitre 5 abordera plus précisément chacune de ces étapes), simplement d'observer les représentations graphiques existantes des flux plastiques. De plus, les étapes du cycle de vie des plastiques présentées sont incomplètes, puisqu'elles supposent que les fuites vers l'environnement n'existent pas (elles ne sont pas représentées) et elles minorent les importations et exportations. Graphiquement, cette sous-évaluation se traduit par le fait que, dans la réalité, chaque étape du cycle comporte des fuites de plastiques ainsi que des échanges d'importation et d'exportation, mais que ceux-ci ne sont pas figurés dans les schémas. À l'inverse, les plastiques régénérés, réutilisés et réemployés, pratiques considérées comme plus vertueuses par la loi et dans les représentations des acteurs et du public, sont eux bien inscrits dans la graphie, mais sans information sur les données quantitatives. Cette absence est soit liée à l'inexistence de ces données, soit à leur manque de robustesse pour être publiées. Pour exemple, lors d'un entretien avec Plastics Europe sur le sujet, il nous a été répondu : « les données reuse/repair, il faut être honnête on ne sait pas les estimer, alors que les emballages réemployables ont une vraie circularité » (entretien, Plastics Europe, 2023). L'existence ou non de données sur un sujet peut dépendre à la fois de l'énergie mise pour les collecter, mais aussi de l'existence ou non de filière pour les traiter (les filières de recyclage sont par exemple bien structurées, entre autres par les REP – cf. chapitre 7, alors que le réemploi et la réparation est largement réalisé en dehors des radars, car présentant moins d'enjeux financiers).

De plus, les productions successives de schémas voient évoluer la graphie et le lexique employé. Au niveau lexical (figure 19), il y a un passage progressif d'un lexique orienté vers l'élimination des déchets («disposal», c'est-à-dire « disposition finale » ou « traitement final ») à un lexique beaucoup plus axé sur la valorisation et la circularité («resource», «circular economy», «circularity»). Cette évolution montre un changement de paradigme, où les plastiques ne sont plus considérés que comme des déchets, mais comme des ressources à intégrer dans une économie circulaire. Toujours figure 19, les représentations visuelles des flux, évoluent également, illustrant une volonté accrue de représenter des boucles fermées (19b, 19c, 19d), et ainsi une intégration croissante des déchets plastiques dans un cycle souhaité continu.

Pour ce qui est des représentations de l'Ademe (cf. figure 18), entre 2018 et 2020, elles sont très ressemblantes, avec tout de même en 2020 plus de détails sur les étapes de production, de consommation des résines vierges et de transformation en produits, ainsi que sur les flux entrants et sortants tout le long du cycle de vie. Cependant, la graphie reste encore très schématique, non proportionnelle et faussement circulaire. Cette limitation dans la précision des représentations a été discutée⁸⁸ en interne entre les salariés de l'Ademe, et semble être davantage le travail du service de communication que des services de production des données : « ça s'est passé dans les mains de la com' ! (rires) » (Observation de terrain, journée « mise au vert », équipe de la Direction Économie Circulaire, Ademe, 2023). Elle est également la conséquence d'une maîtrise méthodologique encore en cours d'acquisition de la part de l'Ademe et donc d'une activité de suivi des données quantitatives encore en consolidation : « c'est qu'à l'Ademe nous ne réalisons pas encore des bilans matières avec la méthode AFM » (Observation de terrain, journée « mise au vert », équipe de la Direction Économie Circulaire, Ademe, 2023).

⁸⁸ Communication orale « Le métabolisme territorial : connaissances et gestion des flux de matières et d'énergie » J. PEREZ, lors de la journée « mise au vert » de la Direction Économie Circulaire, le 17 octobre 2023

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Très récemment, en juillet 2024, l'État français rend public le rapport « Mieux produire, mieux consommer, économie circulaire, point sur l'avancée des travaux », dont une partie est consacrée aux matières plastiques. Un diagramme de Sankey représentant les flux plastiques français en 2022 est présenté (cf. figure 20).

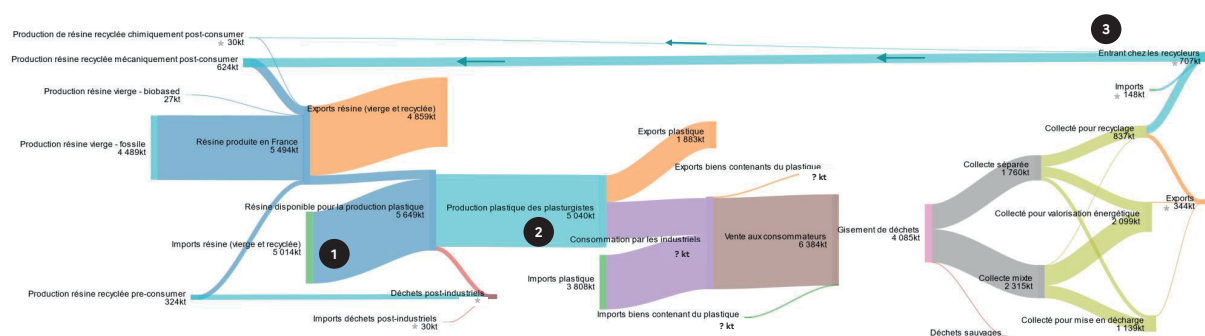


Figure 20 : Représentation des flux plastiques par l'État français

S'il a le mérite de représenter de manière strictement proportionnelle les flux et donc d'indiquer le caractère peu circulaire de l'économie actuelle (par rapport aux schémas de l'Ademe et Plastics Europe), la représentation reste très brute et difficile à interpréter pour un public non averti. La difficulté de lecture de ce schéma tient au fait que le diagramme de Sankey n'a pas été retravaillé visuellement, tant dans le choix des couleurs et de la typographie que dans la représentation des étapes traversées par les flux de matières plastiques. La faiblesse de l'économie circulaire est illustrée par les trois flèches bleues, qui indiquent que 624 kt de résine plastique sont recyclées mécaniquement, 30 kt sont recyclées chimiquement et 324 kt de résines post-industrielles sont recyclées. L'ensemble des étapes indiquées sur ce schéma ne sont pas détaillées pour le moment, puisqu'elles feront l'objet du chapitre 5.

Illustrer les flux de plastique par l'image est un acte puissant qui renforce un récit établi par un acteur en étant à l'origine. Dans ce contexte les graphies semblent mettre en lumière un cycle de vie quasi infini des matières plastiques, chose qui n'est évidemment que fictive en l'état actuel des choses. Néanmoins, le message visuel prend le pas sur le texte (Raworth, 2018), surpassant le vocabulaire technique et les données quantitatives, pour laisser entendre que l'économie circulaire (du plastique) est bien déjà à l'œuvre et que donc il n'est plus la peine de se préoccuper des impacts de sa surconsommation. Comme le souligne Monsaingeon (2022 : 108), le terme « circulaire » s'inscrit progressivement dans notre imaginaire collectif : « sur le plan des représentations, le terme « circulaire » renvoie intuitivement tout à la fois à l'idée de cycle, qui induit l'image familière et rassurante d'une roue qui tourne sur elle-même, d'un mouvement potentiellement infini, autant qu'à celle du cercle qui, a contrario, circonscrit un espace, un territoire : celui peut-être de notre foyer commun ». Ainsi, la notion de circularité suggère un mouvement perpétuel et sans fin, évoquant une harmonie trompeuse où, en réalité, les déchets plastiques persistent sans jamais vraiment disparaître, et surtout où la consommation de plastique continue de croître de manière exponentielle.

Un recensement des données semé d'embûches

Comme indiqué précédemment, la quantification des flux plastiques révèle des enjeux de maîtrise (voire de rétention) d'information, d'accessibilité techniquement limitée aux données, et d'absence de comptabilisation de certains flux à l'échelle de certains territoires. Pour mener à bien nos travaux d'analyse des flux de matières plastiques, il a été nécessaire de faire des choix méthodologiques précis afin de contourner ces obstacles et obtenir une vision aussi complète que possible.

Choix et adaptations méthodologiques pour la quantification des flux plastiques

Plusieurs méthodes d'analyse du métabolisme existent et sont complémentaires (Buclet, et *al.*, 2015). Dans notre cas, la quantification des flux plastiques réalisée se base sur l'approche de l'écologie territoriale. Cette approche se fait en deux temps : tout d'abord une analyse des flux de matières (traitée dans le chapitre suivant 5) puis une analyse des dynamiques d'acteurs (deuxième point qui sera traité plusieurs chapitres en aval – partie 3, chapitres 6, 7 et 8). En ce qui concerne notre enquête quantitative, elle se concentre sur la comptabilisation des circulations de flux de matières plastiques, depuis les étapes de la production de résines vierges, puis de commercialisation des produits plastiques finis, jusqu'aux différentes voies de traitement et de valorisation des déchets, et passant par la collecte, le tri, le recyclage et la réincorporation des matières plastiques recyclées. Ce suivi matériel de la filière plastique a impliqué trois étapes pour la collecte des données quantitatives :

1. Le recensement des données quantitatives publiques des flux plastiques,
2. Le détermination du territoire national comme système socioécologique,
3. L'application de la méthode MFA (*cf.* chapitre 3) pour la réalisation des bilans matières.

Dans un premier temps, nous avons recensé les données quantitatives publiques relatives aux flux plastiques. Nous observons assez rapidement que les informations disponibles sont éparées, se trouvant dans des rapports publics techniques. Des organismes divers compilent ces données, allant des syndicats professionnels, des Organisations Non Gouvernementales (ONG), des éco-organismes, jusqu'aux structures publiques au niveau national et les bases de données statistiques européennes et internationales. Nous mobilisons donc l'ensemble de ces données en les compilant autant que possible, tenant compte des différences dans les méthodes de calcul, les dates, le périmètre des matières traitées et les sources. Nous observons assez rapidement que les informations disponibles sur les plastiques, en plus d'être éparées, sont parfois anciennes, incomplètes et disparates. Une difficulté majeure réside également dans le périmètre des données traitées qui n'est pas toujours le même, certaines incluent l'ensemble des voies de traitement des déchets plastiques, d'autres se limitent à la seule filière du recyclage, tandis que certaines se focalisent uniquement sur un type de produit ou de déchet, comme les emballages. Leur sélection a donc été une étape particulièrement longue et exigeante, nécessitant parfois des estimations ou des suppositions (qui seront mentionnées dans le détail par la suite) dans les chiffres, afin que les totaux des schémas métaboliques soient systématiquement les bons.

Envisageant au départ un suivi fin par type de polymère, cet objectif a partiellement été mis de côté, étant donné que ces informations n'existent que de façon très partielle, notamment puisque chaque acteur n'est pas en mesure de collecter (et de faire remonter) des données à l'échelle fine des résines. Seuls quelques niveaux trop ponctuels pour être généralisés, comme par exemple, un centre de tri ou de

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

recyclage donné, pourraient permettre d'identifier finement ces flux⁸⁹. C'est pourquoi le bilan des flux plastiques (section suivante - figure 22) réalisé n'est pas un suivi fin et exhaustif de chaque circulation de polymères, mais bien un suivi plus global, rendant compte des mouvements de l'ensemble des matières plastiques à chaque étape.

Par ailleurs, il a été nécessaire de choisir une année de référence pour les données, afin de travailler sur des chiffres les plus complets possibles. Nous avons donc dû écarter certaines sources et nous concentrer principalement sur les données de l'année 2018. Cette année présentait le plus d'avantages étant la plus récente au moment de notre enquête qui regroupait le plus de données couvrant l'ensemble du cycle de vie des plastiques. De plus, elle est en dehors de la période impactée par la pandémie de COVID-19, où la consommation et les flux de déchets ont été fortement impactés (Beraud *et al.*, 2022) et constitue l'année de référence pour la loi Agec. Pour cette année, deux sources principales de production de données sont ressorties : les rapports de l'Ademe (Bilan national du recyclage) et de Plastics Europe (Plastic the facts), deux organismes recueillants et compilant les données plastiques provenant de plusieurs autres sources, ainsi que directement auprès des professionnels de la filière. Les bilans matière ont donc principalement été réalisés sur la base de ces données. Seules les données de fuites de plastiques vers l'environnement ne sont pas identifiées dans ces rapports, obligeant à aller chercher les données de produites par une ONG. Les données retenues sont issues d'une étude menée par WWF (WWF, 2019), évaluant ces fuites à 80 kt.

L'échelle territoriale d'étude a été induite par les données quantitatives disponibles. Si en France, les données sur les matières sont particulièrement accessibles au niveau départemental (Buclet, *et al.*, 2015), pour les flux plastiques, c'est au niveau national qu'elles sont le plus solidement exploitables. Ceci rend ainsi difficile (voire impossible) une analyse précise à des échelles plus locales, tel que le niveau départemental ou régional, où les informations sont moins disponibles et plus hétérogènes. Cependant, cela pourrait évoluer dans quelques années, puisque certaines régions et observatoires de ressources et déchets régionaux ont entrepris des études sur les plastiques à leur niveau⁹⁰ (Plan plastique en région Pays de la Loire, Normandie, Île-de-France, Occitanie et Nouvelle-Aquitaine, ainsi qu'un recensement des entreprises régionales de la filière plastique en région Pays de la Loire et en Normandie, cartographie des matières plastiques en région Pays de la Loire, etc.). L'échelle nationale fait ici référence au territoire français métropolitain, car les données sur les territoires d'Outre-mer sont elles aussi peu disponibles et mériteraient des études chaque fois spécifiques et localisées. Ainsi, cette échelle nous a donc semblé être la plus adaptée pour comprendre ces flux, qui, par ailleurs, connaissent des circulations largement nationales et même internationales, du fait de l'interconnexion des chaînes de production, d'importation, d'exportation et de gestion des déchets. Les plastiques circulent à travers des réseaux complexes, impliquant de nombreux acteurs et une diversité de territoires, tant au niveau de la production que de la gestion finale des déchets. L'échelle nationale semble donc particulièrement adaptée à la réalité des flux de plastiques.

Les données recueillies et sélectionnées ont permis de progressivement réaliser et consolider le bilan matières. Pour ce faire, nous avons, utilisé la méthode MFA, qui, « reste la plus utilisée et la plus robuste » (Bahers & Giacchè, 2018) pour mesurer la matérialité des territoires. Cet outil a pour objectif

89 Entretien avec un chargé de projet, ORDEC PACA, 2022

90 Entretien avec une Chargée de mission déchets, Observatoire TEO de la gestion des déchets en Pays de la Loire, juillet 2022

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

d'identifier les flux entrants et sortants d'un système afin de mesurer leurs impacts sur l'environnement (Barles, 2009, 2014 ; Ayres & Ayres, 2002). Nous avons pour cela classé les flux suivants :

- Flux entrants : importations de résines plastiques vierges (comprenant les thermoplastiques et les thermodurcissables) ; flux de MPR (Matières Premières de Récupération) produits nationalement, ainsi que les MPR internationaux importés.
- Flux de consommation de l'ensemble des produits en plastique (dont les emballages majoritaires) ;
- Flux de déchets plastiques prenant les différentes voies de traitement de l'incinération, du stockage (mise en décharge) jusqu'au recyclage ; ces flux ont été complétés par les fuites estimées dans l'environnement ; ils ont également été complétés de l'addition au stock, c'est-à-dire les plastiques restant en circulation dans la société. Cette addition est le résultat d'une estimation de notre part, faisant la soustraction entre la production de déchets plastiques et la consommation de matière plastique.
- Flux d'exportations des déchets plastiques ;

L'ensemble de ces flux permet de produire un métabolisme précis et évolutif dans le temps. Si la vision d'ensemble reste réalisée à l'échelle de l'ensemble des plastiques, certains zooms seront effectués sur une vision plus fine par résine, uniquement à certaines étapes du cycle de vie (là où les données sont disponibles).

Les données quantitatives existantes et leurs limites

Afin de mesurer l'ensemble des flux indiqués précédemment, des données précises ont été mobilisées et tracées, notamment dans l'optique d'exprimer clairement les endroits de flottement dans l'assemblage de ces données, et les nécessaires estimations ou choix (parfois discutable) d'une donnée plus qu'une autre sur certains points en particulier.

Les données disponibles pour 4 analyses de flux

Nous avons choisi de mener quatre analyses complémentaires des flux plastiques en France afin d'apporter une vision à la fois détaillée et évolutive de la situation. Le bilan matières en 2018 (*cf.* figure 22) constitue un point de référence central, car il repose sur un jeu de données particulièrement complet. À partir de ce socle, un zoom spécifique sur la boucle du recyclage des plastiques en 2018 (*cf.* figure 23) permet de mieux comprendre les dynamiques internes de valorisation dans le système, apportant ainsi un niveau de précision indispensable pour identifier les types de polymères effectivement recyclés ainsi que les secteurs économiques qui réincorporent des résines recyclées. En parallèle, l'établissement du bilan des flux en 2022 (*cf.* figure 24) offre une actualisation des résultats et permet de mesurer l'évolution récente, dans un contexte marqué par des politiques publiques renforcées et des changements dans les pratiques industrielles. Enfin, l'analyse diachronique couvrant la période 2006-2022 (*cf.* figure 26) met en perspective ces constats ponctuels en révélant les tendances de fond sur le long terme. Ces analyses ont été possibles pour ces années précisément, car elles correspondent aux moments où les sources de données étaient les plus robustes et les plus détaillées. Leur articulation permet donc de croiser une vision instantanée, un suivi de la boucle du recyclage, une actualisation récente et une perspective temporelle, offrant ainsi une compréhension plus complète et nuancée des flux plastiques en France.

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Tous ces travaux s'appuient sur des sources diverses que nous allons détailler ci-après.

La première base de données utilisées est celle du BNR 2010-2019 (Bilan National du Recyclage) (ADEME, 2022), qui alimente le bilan des flux de plastique en France que nous avons réalisé pour l'année 2018 (chapitre suivant). Il est important de noter que ces informations proviennent de sources primaires, à savoir les données de Plastics Europe, le SRP (Syndicat des Régénérateurs de matières Plastiques), Federec (Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage), ELIPSO (association professionnelle représentant les fabricants d'emballages plastiques) et de deux filières REP, les filières DEEE (Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques) et VHU (Véhicules Hors d'Usage). On note ici l'absence de la filière REP la plus productrice de plastiques, à savoir la filière emballages ménagers, car elle n'apparaît pas dans ces données. En effet, celles-ci ont été établies par Plastics Europe France, tandis que l'Ademe (2022) précise que la REP Emballages ménagers distingue tout de même la part des déchets plastiques ménagers de celle des déchets d'emballages plastiques industriels. Par ailleurs, l'Ademe a aussi directement produit des données, notamment pour la collecte des déchets issus de déchets de fabrication (déchets de production hors chutes internes) et la régénération de MPR (Matières Plastiques Recyclées), venant également alimenter les données du BNR.

Indépendamment de la compilation de données du BNR, pour l'année 2018, Plastics Europe a aussi publié des données quantitatives sur les flux plastiques français (Plastics Europe, 2020), constituant ici la deuxième base de données mobilisée. Les données présentées par l'Ademe (BNR) et Plastics Europe ne sont alors pas entièrement concordantes, bien que l'Ademe s'appuie en partie (mais pas seulement) sur les données fournies par Plastics Europe. Par exemple, la production de produits en plastique est légèrement différente entre les deux rapports, avec 4 816 kt selon l'Ademe et 4 780 kt selon Plastics Europe. La production de déchets en plastique varie également : 3 663 kt pour l'Ademe contre 3 760 kt pour Plastics Europe. Par ailleurs, Plastics Europe renseigne des chiffres précis sur les déchets incinérés (1 672 kt) et mis en décharge (1 159 kt) ; données que l'Ademe ne fournit pas. En ce qui concerne les déchets recyclés, l'Ademe se montre plus optimiste avec 1 267 kt contre 929 kt pour Plastics Europe. Enfin, aucune des deux sources ne mentionne les quantités de plastiques fuyant vers l'environnement ni le taux d'incorporation des matières plastiques recyclées (MPR). Les divergences entre les chiffres fournis par l'Ademe et Plastics Europe soulignent entre autres le parti pris que peuvent avoir les différentes sources d'information sur la gestion des plastiques. Ainsi, l'Ademe, qui est une agence publique, semble adopter une approche plus optimiste, notamment en ce qui concerne le recyclage, ce qui pourrait refléter une volonté de promouvoir des politiques environnementales y étant favorables. Ces variations dans les données peuvent également découler de méthodologies différentes, de définitions variées des catégories de déchets, ou d'une interprétation distincte des résultats. Ainsi, cette situation met en lumière la nécessité de considérer la source des informations et les biais potentiels qu'elles peuvent contenir.

Utilisant ces sources de données pour la réalisation du bilan de matières plastiques de 2018, nous avons dû procéder à des ajustements, car quatre des étapes clés du cycle de vie des plastiques sont dépourvues de données chiffrées consolidées : les importations, les exportations, les plastiques réutilisés et réemployés, ainsi que les rejets vers l'environnement. Pour ce dernier point, l'absence de données est également liée à la nature accidentelle et diffuse des flux que l'on cherche à évaluer. Nous nous sommes donc appuyés sur les données produites par l'ONG WWF (WWF, 2019), tout en revoyant ce chiffre (80 kt) à la baisse puisqu'il semblait, au dire de toutes les personnes interrogées, trop élevé, et afin d'aboutir à un total

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

équilibré des flux de matière entre les différentes étapes. Pour les autres informations (importations, exportations, réutilisation et réemploi), nous avons utilisé des données produites par d'autres sources : la production des MPR nationales provient des données du Syndicat des Régénérateurs des matières Plastiques (SRP). Depuis 2016, ce syndicat publie sur son site internet des statistiques⁹¹ relatives aux déchets plastiques entrants chez les régénérateurs, aux quantités de MPR produites ainsi qu'à leur réincorporation dans les différents secteurs économiques. Toutefois, entre 2016 et 2018, les données étaient détaillées par typologie de plastique et par secteur industriel client, alors que, depuis 2019, ce niveau de détail n'est plus disponible : seules les données agrégées sont accessibles, ce qui ne permet plus d'identifier la répartition des résines par secteur d'activité.

Les exportations de déchets plastiques viennent de la base de données statistiques UNCTAD (United Nations Conference on Trade and Development). Pour cette dernière, nous n'avons toutefois pu obtenir que les données d'exportations à l'étape des déchets plastiques, or nous savons qu'en réalité des importations et des exportations sont réalisées tout au long du cycle de vie des plastiques.

Enfin, tout bilan matière doit considérer l'addition au stock, c'est-à-dire la part des matériaux (ici les plastiques) qui restent stockés dans le territoire, soit, car ils sont encore utilisés, soit, car ils sont entreposés chez des particuliers ou des entreprises, dans la plupart des méthodologies de métabolisme territoriales, cette addition au stock n'est pas directement estimée, mais est calculée par soustraction des entrées et des sorties de matériaux. La situation est donc également celle-là pour les plastiques, à savoir une estimation par soustraction des quantités de plastiques consommées par les quantités de déchets plastiques produits en France.

La deuxième analyse de flux, celle relative au zoom spécifique sur la boucle du recyclage des plastiques en France en 2018, cherchant à avoir un regard beaucoup plus fin par types de polymères, s'appuie sur les données du Syndicat des Régénérateurs de Matières Plastiques (SRP). Cet organisme publie, depuis 2016, des statistiques sur les flux de MPR, incluant les déchets plastiques entrants chez les recycleurs ainsi que les matières plastiques régénérées en sortie. Pour les années 2021, 2022 et 2023, ces données sont complétées par des informations sur les importations et exportations des matières plastiques recyclées (MPR) réalisées par les recycleurs.

Le second bilan réalisé concerne le diagnostic des flux de plastiques de 2022. Celui-ci s'appuie sur une base de données unique et plus solide, à savoir les conclusions du rapport du secrétariat général à la planification écologique, intitulé « Mieux produire, mieux consommer – Économie circulaire : Point sur l'avancée des travaux », publié en juillet 2024. Ces données proviennent de diverses sources. Les chiffres relatifs aux importations et exportations sont tirés de la base de données UN Comtrade (élaborée à partir des informations disponibles sur le commerce mondial du plastique) recoupés avec les informations sur l'approvisionnement fournies par le Syndicat des Régénérateurs de Matières Plastiques (SRP) pour 2022. En ce qui concerne la production, la consommation et la destination des déchets, ce sont les données nationales de Plastics Europe 2022 qui font référence. Quant aux déchets sauvages, le rapport de l'Office Parlementaire intitulé « Pollution plastique : une bombe à retardement ? » fait état, selon l'Ademe, de plusieurs dizaines de milliers de tonnes de plastiques qui finissent chaque année dans la nature. La capacité maximale de recyclage, quant à elle, est estimée à partir des échanges avec les différentes parties prenantes. Toutefois, il est indiqué que des incertitudes subsistent concernant la répartition précise et les quantités exactes des flux étudiés.

91 <https://www.srprecycle.com/donnees-statistiques> consulté en août 2025

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Enfin, la quatrième analyse, diachronique entre les années 2006 et 2022, s'appuie sur les données de Plastics Europe pour montrer l'évolution des flux sur un temps relativement long, soit sur une période de seize ans (2006 à 2022). Les données proviennent des rapports Plastics The Facts⁹², publiés tous les deux ans environ.

Les limites des données et les ajustements méthodologiques

Malgré les données disponibles, plusieurs limites à la traçabilité des flux plastiques subsistent. Tout d'abord, les méthodes de calculs utilisées par Plastics Europe ne sont pas publiques, ne permettant pas de comprendre en détail leurs limites. Ensuite, du côté de l'Ademe, un rapport méthodologique est toujours annexé à la publication du BNR, seulement il présente davantage les sources des données présentées que le détail des méthodes de calculs utilisées. Ces éléments sont importants à souligner, car les données rendues publiques sont en réalité des données estimatives⁹³ en raison notamment de clauses de confidentialités économiques invoquées par les entreprises du secteur, mais également en lien avec la difficulté à quantifier de manière fine les résines plastiques par ces mêmes acteurs. Certains professionnels déclarent ainsi que « il est vraisemblablement possible que l'on sous-estime les quantités de déchets⁹⁴ ».

De plus, il est crucial de noter que certaines données, comme celles du SRP, sont perçues pour certains comme plus fiables que celles de l'Ademe⁹⁵, notamment en raison des défauts significatifs observés dans le rapport 2018-2020. Toutefois, cette fiabilité est à nuancer, car le SRP ne représente environ que 85 % des recycleurs français⁹⁶ et ne fournit pas toujours un détail exhaustif des données, ce qui soulève des questions sur la transparence des informations. Les données annuelles du SRP proviennent d'une agrégation d'informations confidentielles fournies par l'ensemble de ses membres, suite à une enquête exhaustive menée chaque année au début de l'année N+1. Actuellement, 26 membres du SRP exploitent 41 sites de production de matières plastiques recyclées (MPR). Il convient de noter que, dans les tableaux récapitulatifs des statistiques présentés sur le site du SRP⁹⁷, les cellules contribuant aux totaux (horizontaux et verticaux) sont colorées en jaune et ne fournissent que des informations qualitatives. Cette approche a été adoptée suite aux recommandations de l'avocat-conseil du SRP, qui met en garde contre les risques anticoncurrentiels liés à la divulgation de données chiffrées provenant d'un nombre limité de contributeurs.

Par ailleurs, un problème récurrent concerne le fonctionnement de Plastics Europe, qui opère souvent à l'échelle européenne sans se prononcer de manière précise sur les chiffres relatifs à la France⁹⁸. Ces

92 <https://plasticseurope.org/fr/resources/market-data/> consulté en août 2025

93 Entretien avec le Directeur général de Plastics Europe France, avril 2023 : « Il faut garder en tête que ça reste des estimations, c'est des estimations qui sont assez reconnues et crédibles ; elles sont reprises par à peu près tout le monde donc c'est sans doute les meilleures estimations qui existent sur le marché européen des plastiques ».

94 Entretien avec le Directeur général de Plastics Europe France, avril 2023.

95 Entretien avec une chargée de mission au sein de la Direction Générale des Entreprises, Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique, juin 2024 : « les données du SRP sont plus fiables que les données de l'Ademe surtout le rapport 2018/2020, les données ont pas mal de défauts ».

96 <https://www.srpecycle.com/post/2024-une-annee-charniere-pour-les-regenerateurs-membres-du-srp> consulté en août 2025

97 Site internet du SRP : <https://www.srpecycle.com/> Consulté en septembre 2024

98 Entretien avec une chargée de mission au sein de la Direction Générale des Entreprises, Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté Industrielle et Numérique, juin 2024 : « Plastics Europe (...) c'est un problème qu'on a, ils fonctionnent souvent uniquement au niveau Europe et ils ne souhaitent pas forcément se prononcer sur les chiffres précis pour la France ».

limitations montrent que la traçabilité et la transparence des données sont encore à améliorer pour mieux appréhender les enjeux des plastiques.

Ainsi, les travaux quantitatifs de cette recherche présentent plusieurs limites, que nous résumons ci-après par souci de relativisation des interprétations qui pourront être réalisées par la suite :

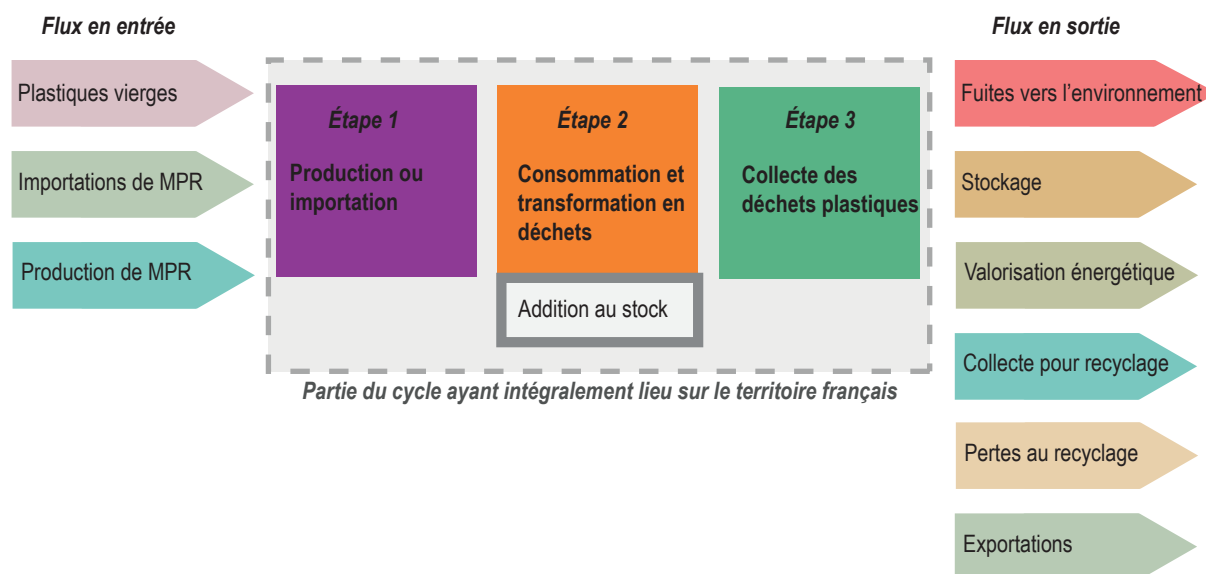
- Les données quantitatives utilisées dans les analyses matières comportent des incertitudes liées aux sources publiques disponibles.
- Les données quantitatives les plus complètes disponibles correspondaient à l'année 2018, jusqu'à la publication en juillet 2024 du rapport du secrétariat général à la planification écologique, qui a fourni des données sur les flux plastiques pour l'année 2022. Ces données ont été intégrées dans notre analyse, mais seulement dans la phase finale du travail de thèse.
- Par manque de données, les résines n'ont pas pu être comptabilisées aussi finement que souhaité sur l'ensemble des étapes. Elles n'ont pu être identifiées et analysées que dans la boucle du recyclage et de la réincorporation où des données existent.
- Seul le recyclage mécanique est traité dans l'étude, car cette technique de recyclage est presque exclusivement la seule développée industriellement en France.

Les étapes constitutives de la circulation des flux plastiques

Après avoir présenté les données quantitatives et leurs enjeux, nous poursuivons la méthodologie de notre étude. L'objectif de cette section est de décrire les différentes étapes par lesquelles les flux plastiques circulent et de préciser les données utilisées, afin de préparer l'analyse des métabolismes (chapitre 5). Pour ce faire, nous proposons, dans un premier temps, une représentation graphique des flux plastiques. Nous revenons ensuite sur les données mobilisées, en précisant leurs sources ainsi que l'explication de certains calculs d'estimation effectués dans le cadre de la recherche. Ces éléments ont servi à l'élaboration des deux bilans matières de 2018 et 2022.

La représentation graphique des flux

La représentation graphique des flux est organisée en une série d'étapes successives, connectées entre elles. Elle forme un tout comprenant un amont et un aval, où les flux d'entrée et de sortie sont représentés aux extrémités de l'ensemble des processus (*cf.* figure 21).



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 21 : Les étapes clés des flux plastiques

En amont de la filière, les flux en entrée permettent d'identifier les éléments intégrant le système, qui, dans notre cas, sont représentés par les granulés de plastiques vierges ou recyclés ainsi que des importations de MPR. Ensuite, trois grandes étapes se succèdent. Tout d'abord, l'étape de production ou importation, où a lieu la transformation des granulés plastiques en produits finis, qui varie selon les secteurs économiques, car chaque industrie a ses propres besoins et procédés de fabrication. Par exemple, dans le secteur de l'emballage, les granulés sont fondus et moulés pour produire divers types d'emballage, tandis que, dans l'industrie automobile, les granulés sont plutôt injectés ou extrudés pour fabriquer des pièces automobiles. Ensuite, à la seconde étape de consommation et transformation en déchets, les divers produits plastiques mis sur le marché peuvent être utilisés par les consommateurs, qui les conservent en fonction de leur durée de vie. Cette durée d'utilisation peut varier considérablement, allant de quelques heures pour des articles jetables à plusieurs décennies pour des produits durables. L'addition au stock de plastiques fait référence à l'ensemble des produits plastiques qui restent en circulation après leur utilisation. Ce stock peut inclure une variété de formes et de types de plastiques, comme ceux présents dans les bâtiments, les meubles, les équipements et les dispositifs électroniques. Par exemple, les plastiques utilisés dans la construction peuvent rester en place pendant de nombreuses années, voir décennies, sans être remplacés, tandis que d'autres plastiques, comme ceux des emballages alimentaires, peuvent rapidement (au bout de quelques heures) devenir des déchets après une utilisation unique. Enfin, la collecte des déchets plastiques correspond à la troisième étape du processus. Les déchets seront collectés pour être envoyés vers différentes voies de traitement, parmi lesquelles la valorisation énergétique, le stockage ou le recyclage. Les flux en sortie englobent les fuites vers l'environnement, les déchets plastiques traités, qu'ils soient recyclés ou non, ainsi que les exportations de ces matériaux.

En réalité, des rejets vers l'environnement se produisent tout au long du cycle de vie des plastiques, depuis leur production jusqu'à leur fin d'usage. Ces rejets se manifestent sous différentes formes, par des émissions atmosphériques (émissions de CO₂ durant la production, émissions de polluants lors

de l'incinération ou de l'enfouissement des déchets plastiques) et des fuites de macroplastiques et microplastiques contaminant les sols et les eaux et nuisant à la faune.

Certaines étapes du cycle des plastiques se déroulent en France, d'autres à l'étranger, et certaines à la fois en France et à l'international. La production de plastiques vierges et recyclés se déroule à la fois en France et à l'étranger. Quant aux trois étapes du processus, elles se réalisent uniquement sur le territoire français.

Les données utilisées

Les représentations des flux plastiques pour les années 2018 (*cf.* figure 22) et 2022 (*cf.* figure 24) ont été réalisées afin d'illustrer les circulations de matières plastiques à ces dates. Le choix de ces années s'explique par la disponibilité des données et par le fait qu'elles permettent d'obtenir un état des lieux relativement complet des flux. Ces bilans matières indiquent la répartition des flux plastiques entre les productions, les usages, les collectes, exprimant ainsi la matérialité plastique à l'échelle nationale.

En raison de la diversité de sources de données, nous avons été amenés à faire plusieurs estimations, détaillées ci-après pour les deux années de référence permettant d'équilibrer les bilans de matières des figures 22 et 24. L'ensemble des données utilisées sont listées dans le tableau 6 pour l'année 2018 et le tableau 7 pour l'année 2022.

Pour l'année 2018

Ces estimations concernent les importations internationales de MPR de 161 kt, calculées comme la différence entre la consommation totale de plastiques (5599 kt) et la somme des plastiques vierges importés (4816 kt) avec la production nationale de MPR (622 kt). Cette estimation est justifiée, car les données directes d'importation de MPR ne sont pas publiquement disponibles.

Des « flux non identifiés » ont été ajoutés aux plastiques utilisés pour respecter l'équilibre comptable, car on suppose qu'il peut y avoir des flux non identifiés à cet endroit-là, notamment en raison de l'importation de certains produits plastiques. Le calcul a été le suivant : les plastiques produits à qui on soustrait les produits utilisés ($5\,599 - 5\,000 = 599$).

L'addition au stock de 1 936 kt est placée à l'étape de la consommation, car elle représente des plastiques qui resteront sur le territoire plus longtemps avant de devenir des déchets (usages de longue durée), soit la différence entre les plastiques utilisés (5 599 kt) et les déchets plastiques produits (3 663 kt) : $5\,599 - 3\,663 = 1\,936$ kt.

Les pertes au recyclage, estimées à 203 kt, représentent des plastiques collectés pour le recyclage qui ne se retrouvent ni dans les matières plastiques recyclées (MPR produits, 622 kt) ni dans les déchets exportés (443 kt). Elles sont calculées comme la différence entre la collecte pour recyclage (1 267 kt) et la somme de ces flux : $1\,267 - 622 - 443 = 203$ kt. Cette estimation est justifiée à la fois par l'équilibre des flux (tous les plastiques collectés doivent avoir une destination) et par la plausibilité de ces pertes sur le terrain, liées aux inefficiences du tri, aux pertes de matière ou à l'incapacité des installations à traiter certains plastiques.

Enfin, les rejets vers l'environnement ont été calculés pour boucler le bilan de fin de vie après collecte des déchets. Ils correspondent aux déchets produits (3 663 kt) moins les flux traités : stockage (1 159 kt), valorisation énergétique (1 172 kt), production de MPR (622 kt), exportations (442 kt) et pertes au recyclage (203 kt). Calcul : $3\,663 - (1\,159 + 1\,172 + 622 + 442 + 203) = 65$ kt.

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

	Type de donnée	Quantité kt	Source Secondaire	Source primaire	Méthode de collecte	Commentaire	
Plastiques produits	Thermoplastiques vierges	4 095	Ademe BNR 2018	Plastics Europe France	« Estimation réalisée par Plastics Europe Market Research Group »	« Répartition par résine. Données les plus récentes : 2019 »	
	Thermodurcissables vierges	721					
	Ensemble des plastiques vierges	4 816					
	Production de MPR nationales	622					
	Importation de MPR internationales	161					
Total des plastiques produits : 5 599							
Productions / Importations	Emballages	2 200	Ademe BNR 2018	N.C	N.C		
	BTP	1 100					
	Automobile	400					
	EEE	250					
	Ménages	200					
	Agricultures	150					
	Autres	700					
	Flux non identifiés	599		Estimation de la recherche	(Plastiques produits) – (produits utilisés)	Calcul : 5 599 – 5 000 = 599	
Total des plastiques utilisés : 5 599							
Consommation/transformation des déchets	Déchets d'emballages	2 345	Ademe BNR 2018	Plastics Europe France ADEME (rapport filières REP) Plastics Europe France	« Données VHU, DEEE, DEA, PA, agrofourniture : rapports des filières concernées et documents de caractérisation des déchets Données emballages ménagers : rapport d'activité 2019 de Citeo »		
	Déchets BTP	125					
	Déchets VHU	202					
	DEEE	132					
	DEA	37					
	Déchets agricoles	118					
	Autres	704					
	Addition au stock	1936		Estimation de la recherche	(Plastiques utilisés) - (déchets plastiques)	Calcul : 5 599 – 3 663 = 1 936	
Total des déchets plastiques avec addition au stock : 5 599							

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Collecte des déchets	Fuites vers l'environnement	65		Estimation de la recherche	(Déchets produits) - (stockage + valorisation énergétique + production de MPR + exportations + pertes au recyclage)	Calcul : 3 663 – 3 598 = 65	
	Stockage	1 159		Plastics Europe France	N.C		
	Valorisation énergétique	1 172					
	Collecte pour recyclage	1 267	Ademe BNR 2018				
	Total du traitement des déchets : 3 686						
	Perte au recyclage	203		Estimation de la recherche	(Collecte pour recyclage) – (MPR produits) – (déchets d'exportations) – (importations de déchets plastiques)	Calcul : 1 267-622-442,47	
	Exportations	442		UNCTAD, Global trade in plastics: insights from the first life-cycle trade database, 2020	N.C		
Importations de MPR internationales	161	Ademe BNR 2018	Douanes	Codes douaniers			

Tableau 6: Sources de données des étapes de la filière des plastiques française en 2018

Pour l'année 2022

Des estimations de la recherche ont également été réalisées pour l'année 2022 avec pour objectif de combler les données manquantes et de respecter l'équilibre comptable et de renforcer l'approche méthodologique afin de représenter l'ensemble des flux plastiques.

Tout d'abord, les flux non identifiés (285 kt) correspondent à une différence entre la production de déchets post-industriels (609 kt) et la production de résines recyclées pré-consommation (324 kt). Dans la réalité, cela signifie que sur les 609 kt de déchets post-industriels produits, seuls 324 kt sont réellement réintroduites sous forme de résines recyclées pré-consommation. La différence de 285 kt représente des flux dont la destination précise n'est pas connue ou n'est pas documentée. Concrètement, cela peut inclure des déchets industriels qui restent sur site, sont stockés temporairement, perdus lors des processus de tri ou de transformation, ou sont réutilisés dans des applications non suivies.

Ensuite, une addition au stock a été effectuée en comparant les ventes de produits aux consommateurs avec les déchets générés. Cette différence, qui représente 2 299 kt (6 384 kt de ventes moins 4 085 kt de déchets), correspond à l'augmentation nette du stock dans le système.

Concernant les déchets entrants chez les recycleurs, un flux total de 641 kt a été estimé. Ce chiffre s'explique par l'addition des 837 kt de plastiques collectés en France pour recyclage, auxquels s'ajoutent

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

148 kt d'importations, puis en soustrayant les 344 kt qui, au lieu d'être traités en France, sont exportés vers d'autres pays. Concrètement, cela signifie que tous les plastiques collectés en France ne sont pas effectivement disponibles pour les recycleurs français. Une partie est directement envoyée à l'étranger, ce qui réduit la quantité de matière première secondaire accessible au marché national. Inversement, la France importe aussi des plastiques à recycler, ce qui reflète une dépendance partielle aux flux internationaux pour alimenter ses usines de recyclage. Ainsi, le volume de déchets entrants (641 kt) ne traduit pas seulement la collecte nationale, mais aussi ces échanges transfrontaliers.

Les pertes au recyclage ont ensuite été évaluées à 165 kt. Ce résultat correspond à la différence entre, d'une part, les déchets disponibles pour recyclage (soit 641 kt de flux entrants auxquels s'ajoutent 148 kt importés, soit un total de 789 kt) et, d'autre part, les 624 kt effectivement recyclées. Ainsi, une part importante des plastiques collectés ne parvient pas jusqu'au stade final de recyclage : certains sont éliminés lors des étapes de tri (matières souillées, plastiques non conformes ou mélanges trop complexes), d'autres sont perdus au cours du processus industriel lui-même (résidus, poussières, fractions non valorisables). Autrement dit, même une fois collectés, tous les plastiques ne se transforment pas en nouvelle matière réutilisable, ce qui limite la quantité réellement réinjectée dans l'économie circulaire.

L'ensemble de ces estimations permettent de produire les figures 22 et 24, afin d'identifier un métabolisme territorial cohérent, malgré l'agrégation de données différentes.

	Type de donnée	Quantité kt	Source Secondaire	Source primaire	Méthode de collecte	Commentaire
Plastiques produits	Production de résines vierges fossiles en France	4489	Secrétariat général à la planification écologique	Plastics Europe, 2022		
	Production de résines biosourcées en France	27				
	Production de résines post-consumer recyclées mécaniquement	624				
	Production de résines pré-consumer recyclées	324				
	Production de résines post-consumer recyclées chimiquement	30				
	Ensemble des résines recyclées	978				
Total des résines produites : 5 494						

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Productions /importations et exportations	Exportations de résines	4 859	Secrétariat général à la planification écologique	UN Comtrade		
	Importations de résines	5 014				
	Ensemble des résines françaises produites	5 494				
Total des résines disponibles : 5 649						
Conso/transfo plastiques	Résines disponibles pour les plasturgistes	5 649	Secrétariat général à la planification écologique			
	Production de plastiques par les plasturgistes	5 040				
	Exportations de plastiques	1 883		UN Comtrade		
	Déchets post-industriels	609				
	Flux non identifiés	285		Estimation de la recherche	(Déchets post-industriels - Production de résines pré-consumer recyclées)	Calcul : 609 – 324 = 285
	Consommation par les industriels	6 965		Plastics Europe, 2022		
	Importations de produits plastiques	3 808		UN Comtrade		
	Exportations de produits plastiques	581		UN Comtrade		
Conso/transfo déchets	Ventes aux consommateurs	6 384	Secrétariat général à la planification écologique			
	Déchets produits	4 085				
	Addition au stock	2 299		Estimation de la recherche	(Ventes aux consommateurs - Déchets produits)	Calcul : 6 384 - 4 085 = 2 299
	Total des déchets plastiques avec addition au stock : 6 384					

Chapitre 4 - Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques

Collecte des déchets	Fuites vers l'environnement	10	Secrétariat général à la planification écologique	Office Parlementaire « Pollution plastique : une bombe à retardement ? », 2020			
	Collecte séparée	1 760					
	Collecte mixte	2 315					
	Total des déchets collectés : 4 075						
	Collecte pour recyclage	837	Secrétariat général à la planification écologique				
	Mise en décharge	1 139					
	Incinération	2 099					Calcul : 1 176 + 923 = 2 099
	Total du traitement des déchets : 4 075						
	Exportations de déchets triés	344	Secrétariat général à la planification écologique	Un Comtrade croisé avec les données d'approvisionnement SRP 2022			
	Déchets entrants chez les recycleurs	641			Estimation de la recherche	(Collecte pour recyclage + importations de déchets – exportations de déchets)	Calcul : 837 + 148 - 344 = 641
	Importations de déchets	148			Un Comtrade croisé avec les données d'approvisionnement SRP 2022		
	Pertes au recyclage	17			Estimation de la recherche	(déchets entrants au recyclage – déchets recyclés)	Calcul : 641 - 624 = 17

Tableau 7 : Source de données des étapes de la filière des plastiques française en 2022

Chapitre 5 : Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

Après avoir présenté les données publiques disponibles et exposé la méthodologie de calcul employée, l'objectif est désormais d'analyser quantitativement le métabolisme français des plastiques. Pour cela, les deux schémas du métabolisme des plastiques 22 et 24 présentés ci-après se rapportent aux années 2018 et 2022 et au périmètre national de la filière des plastiques. Leur lecture se fait de gauche à droite suivant la logique des flux du système. Chacune des étapes du système sera explicitée. Les flux sont comptabilisés en kilotonnes (kt).

Un focus particulier sera réalisé sur la boucle du recyclage en 2018 (*cf.* figure 23), en considérant uniquement les flux de plastiques effectivement recyclés. Cette approche permettra d'identifier les usages de ces matériaux selon leur composition chimique (types de polymères).

Enfin, une dernière analyse visera à montrer que les flux de plastiques évoluent principalement sur des échelles de temps longs : nous verrons que, sur une période de seize ans (2006-2022), (*cf.* figure 27) la distribution globale des flux ne connaît que des variations douces.

Le métabolisme français des plastiques en 2018

La recherche ayant débuté en 2021, les données les plus complètes disponibles pour établir un bilan matières des flux plastiques concernaient l'année 2018. Nos premières analyses se sont donc concentrées sur cette année. En 2024, à la fin de la recherche, le Secrétariat général à la planification écologique a publié une nouvelle étude présentant des données actualisées sur les flux plastiques pour l'année 2022, qui constituent à ce jour les informations publiques les plus récentes. Cela nous a permis d'établir un bilan matières pour 2022, d'observer l'évolution des flux plastiques dans le temps et de mettre en évidence les écarts entre les deux années de référence.

Nous commencerons ainsi par présenter notre analyse du métabolisme des plastiques en 2018, avant de passer au comparatif avec 2022.

La production française de plastique

La France n'étant pas un important pays producteur de résines plastiques vierges, 4 816 kt de granulés vierges sont importés pour approvisionner les plasturgistes, soit 86 % du total des flux. Les principaux pays producteurs de plastique au monde sont la Chine (34 %), les États-Unis (13 %), l'Arabie saoudite (5 %), la Corée du Sud (5 %), l'Inde (4 %), le Japon (3 %) et l'Allemagne (2 %), totalisant à eux seuls 66 % de la production mondiale⁹⁹. Le secteur industriel de la plasturgie est de façon historique, en France, plutôt positionné sur la transformation des plastiques. L'activité est principalement concentrée dans 4 régions¹⁰⁰ : Auvergne-Rhône-Alpes (21 % de salariés), Pays de la Loire (12 %), Grand-Est (11 %) et Hauts-de-France (10 %). Les plasturgistes, ont pour rôle de mouler ou d'injecter les granulés, selon les types de plastiques, pour transformer les résines en produits, à la demande de

99 <https://zerocarbon-analytics.org/archives/energy/majority-of-the-worlds-plastics-produced-by-a-small-number-of-countries-and-companies> consulté en août 2025

100 [https://www.insee.fr/fr/statistiques/6668468#:~:text=En%20Auvergne%2DRh%C3%B4ne%2DAlpes%2C%2023%20000%20salari%C3%A9s%20travaillent%20dans,%2DFrance%20\(10%20%25\)](https://www.insee.fr/fr/statistiques/6668468#:~:text=En%20Auvergne%2DRh%C3%B4ne%2DAlpes%2C%2023%20000%20salari%C3%A9s%20travaillent%20dans,%2DFrance%20(10%20%25).). Consulté en août 2025

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

100 secteurs d'activités (Polyvia, 2021) : grande consommation, automobile, médical, emballages, pièces techniques... Les plasturgistes intègrent également dans leur production des matières plastiques recyclées (MPR), produites en France à hauteur de 622 kt et importées à hauteur de 161 kt. La consommation de recyclats est donc essentiellement nationale (à hauteur de 79 %), constituant ainsi une force importante pour avancer vers une économie plus circulaire. Au total, pour l'année 2018, ce sont donc 783 kt de MPR qui sont utilisées dans la production de nouveaux objets en plastique. Le total de ces entrées matières, soit 5 599 kt, est consommé par sept secteurs industriels, dont deux sont majoritaires : les emballages (ménagers et industriels) consomment 39 % des plastiques ; le BTP en consomme 19 %. Le reste est réparti entre les cinq autres secteurs pour des usages assez diversifiés allant du médical à l'ameublement.

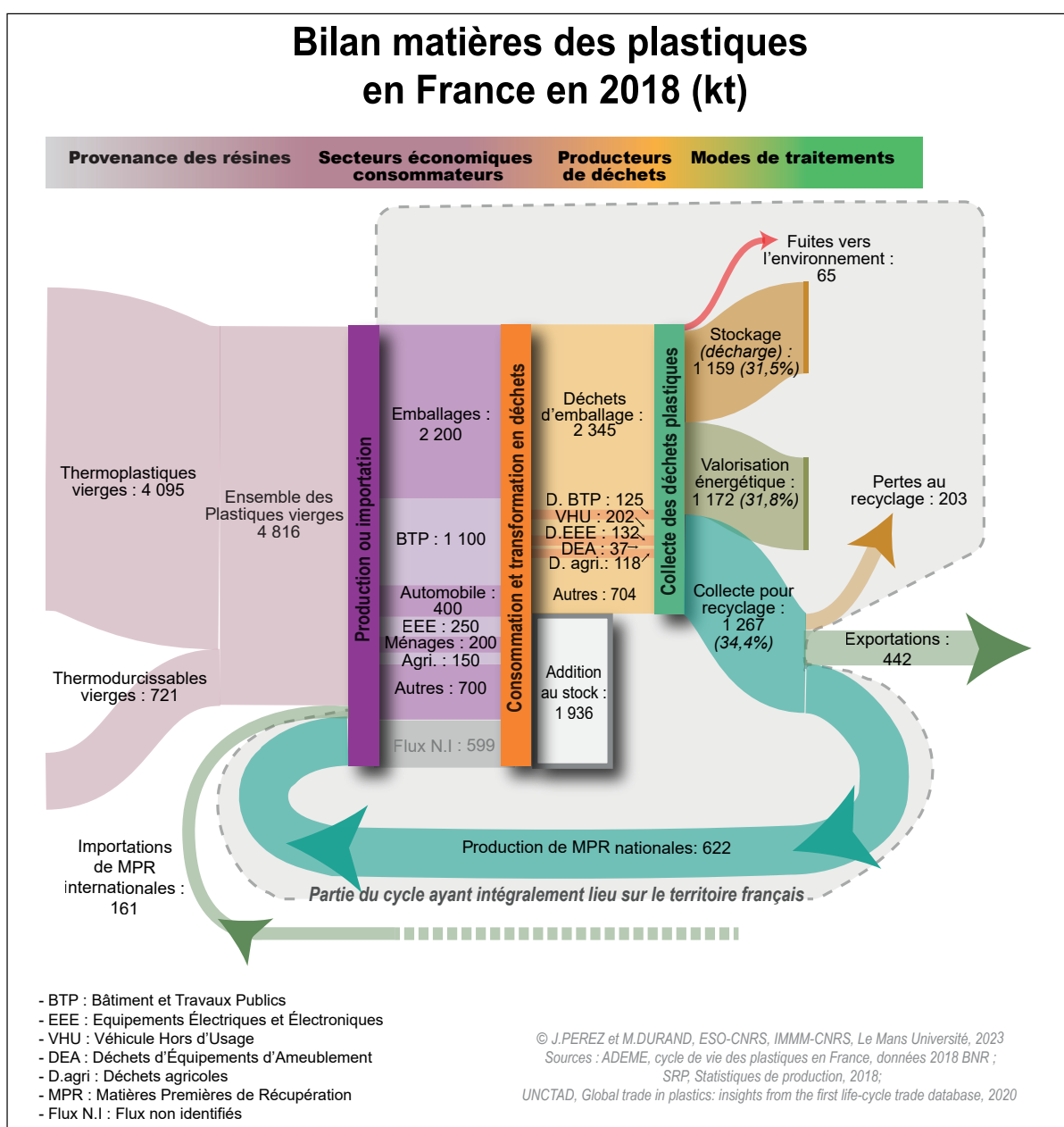


Figure 22 : Bilan matières des plastiques en France en 2018 en kt

Des objets aux déchets plastiques

En sortie du cycle de consommation, 3663 kt de plastiques deviennent des déchets dont 64 % sont des emballages (provenant des ménages et des industries) alors qu'ils ne représentent que 39 % de la consommation. Ce décalage provient du fait que leur durée d'utilisation est courte, estimée par Citeo entre quelques jours à 1 an maximum¹⁰¹. Ces données montrent ainsi la prépondérance des emballages dans la problématique globale du plastique. La filière de collecte pour recyclage des emballages est structurée depuis 1992 (majoritairement par Éco-emballage devenu Citeo), et, malgré cela, sur les 2 345 kt de déchets d'emballages plastiques collectés, seuls 33,2 % font l'objet d'une collecte pour recyclage (OPECST, 2020 : 8, citant Plastic Europe, 2020). Cette situation pose alors la question de l'effectivité de la gouvernance des flux. Ce questionnement ne concerne pas que les déchets d'emballages, mais l'ensemble des autres catégories de déchets plastiques, telles que les Déchets d'Équipements d'Ameublement (DEA), les déchets du Bâtiment et Travaux Publics (BTP), les déchets des Véhicules Hors d'Usage (VHU), les Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE), les déchets agricoles, etc.

Dans chacune de ces catégories, on trouve non seulement des plastiques, mais aussi d'autres types de matériaux, où les matières sont souvent entremêlées. Par exemple, dans le secteur du BTP, les plastiques peuvent être intégrés dans des structures composites ou associés à des éléments tels que des isolants, des revêtements de sol, ou des fenêtres, ce qui complique leur séparation et leur recyclage. Même s'ils sont pris en charge par des filières REP, la diversité des plastiques et leurs associations à d'autres matériaux rendent leur recyclage difficile. L'organisation du recyclage en filières liées à des objets est censée assurer une gestion optimale des déchets, en responsabilisant les producteurs sur la fin de vie de leurs produits. Cependant, dans la pratique, les taux de recyclage et d'incorporation restent relativement faibles, tout comme les taux de collectes (SRP, 2018), montrant la difficulté opérationnelle à trier des matériaux tellement imbriqués dans des objets et dans des filières différentes.

Les DEEE contiennent une proportion significative de plastiques, souvent utilisés dans les coques et composants internes des appareils. En 2018, environ 132 kt de plastiques issus des DEEE ont été collectés, mais environ 38 % des plastiques issus des DEEE sont recyclés (Ademe, 2021). Les VHU représentent une autre catégorie importante, avec 202 kt de déchets plastiques produits. Bien que le taux de valorisation global des VHU dépasse 90 %, le recyclage spécifique des plastiques de cette filière ne dépasse pas 20 % (Ademe, 2020). Les plastiques utilisés dans le secteur du BTP, 125 kt par an, incluent des matériaux d'isolation, des tuyaux, des revêtements et d'autres composants. Environ 10 % des plastiques du BTP sont recyclés (Federec, 2020). Les déchets agricoles, bien que moins représentés dans les chiffres globaux, constituent une source importante de déchets plastiques, comme les films de serre, les contenants pour produits phytosanitaires et les bâches. La catégorie des «autres déchets» plastiques, présents sur la figure n° 22, regroupe une variété de matériaux qui ne se classent pas toujours dans les catégories plus courantes mentionnées précédemment. Elle comprend un large éventail de plastiques provenant de différentes sources et applications, par exemple de produits ménagers, tels que des jouets, des appareils de cuisine et des meubles, ainsi que des plastiques générés par divers secteurs industriels, comme les chutes de production ou les surplus de fabrication. On

101 Citeo. (2022). Tri et recyclage des bouteilles en plastique : on fait le point ! <https://www.citeo.com/le-mag/infographie-tri-et-recyclage-des-bouteilles-en-plastique-fait-le-point/> consulté en août 2025

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

y trouve également des articles divers, tels que des produits d'hygiène et de soin, entre autres. En 2018, cette catégorie englobait également des plastiques qui ne disposaient pas encore de filières de Responsabilité Élargie des Producteurs (REP). Toutefois, les futures mises en place de REP pour des secteurs comme les jouets et le bricolage devraient réduire cette catégorie «autres», facilitant ainsi une meilleure visibilité de ces flux.

Le stock de matières plastiques

L'addition au stock, correspondant aux plastiques restant en usage (ou en stockage) dans la société, représente 1 936 kt et correspond à la différence entre les entrées et les sorties (Barles, 2006 ; Bahers, 2012). Ce chiffre inclut des plastiques accumulés au fil des ans, et pas encore devenus des déchets. Ce stock est un indicateur clé des plastiques encore en circulation sur le territoire et de leurs diverses durées d'utilisation. À l'inverse des emballages plastiques, qui ont une durée d'usage très courte et sont généralement jetés après une utilisation unique, d'autres plastiques, tels que ceux intégrés dans le mobilier urbain, les infrastructures des bâtiments ou certains textiles, peuvent avoir des durées d'usage qui s'étendent sur plusieurs années, voire décennies. Par exemple, les plastiques utilisés dans les revêtements de sol et les fenêtres des bâtiments peuvent durer entre 30 et 50 ans, tandis que du mobilier en plastique (bancs, tables, etc.) peut également rester fonctionnel pendant de nombreuses années. Cependant, il est crucial de souligner que, même si ces plastiques sont conçus pour durer, ils ne sont pas inertes et leur présence dans l'environnement peut entraîner des conséquences préoccupantes. Au fil du temps, les plastiques vieillissent et se dégradent, libérant des microplastiques et des substances chimiques comme des additifs dans l'environnement.

Les voies de traitements des déchets plastiques

Les déchets plastiques, une fois produits, suivent trois voies de fin de vie. Ils sont répartis à environ 1/3 chacun entre le stockage – c'est-à-dire la mise en décharge (32 %), l'incinération avec valorisation énergétique (33 %) et la collecte pour recyclage (35 %). Sur ce tiers collecté pour recyclage, 622kt sont directement recyclés en France et 442,47 kt (12 % du total des déchets plastiques produits) envoyés pour recyclage à l'étranger. En parallèle, la France importe 161 kt de plastiques recyclés pour être réincorporés, soit l'équivalent de 21 % de matières plastiques recyclées qui sont réincorporés dans la production française, l'ensemble de cette matière première recyclée représentant 14 % de la matière première totale utilisée par les producteurs et transformateurs de plastique. Ceci aboutit donc à la certitude d'un recyclage équivalent à 17 % de l'ensemble des déchets plastiques générés en France, puisqu'il n'est pas possible d'avoir une traçabilité des autres flux partant à l'international. Le reste (203 kt, soit 6 % du total, notées pertes au recyclage sur le schéma) n'est finalement pas recyclé et est renvoyé vers le stockage (mise en décharge) ou l'incinération, car il s'agit de plastiques de mauvaise qualité, trop complexes (assemblages de plusieurs couches), ou de morceaux trop petits pour être effectivement triés.

Ainsi, il existe plusieurs façons de traiter les déchets plastiques, via différentes infrastructures techniques. La valorisation énergétique par l'incinération est l'une d'entre elles. Ce procédé permet de valoriser leur potentiel énergétique en produisant de l'électricité. En effet, les plastiques possèdent un pouvoir calorifique élevé, ce qui signifie que leur combustion peut chauffer de l'eau pour générer de la vapeur. Cette vapeur actionne ensuite une turbine, dont l'énergie mécanique est transformée en

électricité via un alternateur. Toutefois, cette méthode présente des inconvénients environnementaux, notamment l'émission de gaz à effet de serre, comme le dioxyde de carbone (CO₂), ainsi que des substances toxiques telles que les gaz acides (HCl, SO₂, HF), les dioxines, les furannes, et des métaux lourds (Khodakov *et al.*, 2020).

L'enfouissement est une autre méthode de gestion des déchets plastiques, consistant à les enterrer dans des sites spécialisés appelés installation de stockage des déchets non dangereux (ISDND) – plus connues sous le terme grand public de « décharges contrôlées ». Les plastiques sont des matériaux non biodégradables, ce qui signifie qu'ils peuvent rester enfouis pendant des centaines d'années. De plus, ils peuvent se fragmenter en micro puis en nanoplastiques, qui contaminent les sols et les eaux souterraines. Les combustibles solides de récupération (CSR) représentent une alternative à l'incinération et à l'enfouissement. Il s'agit de combustibles issus de déchets non recyclables, principalement composés de plastiques, de pneus, de papiers, de cartons, et d'autres matériaux. Les CSR sont utilisés comme source d'énergie dans des industries comme la cimenterie ou les centrales thermiques, remplaçant partiellement les énergies fossiles. Ils offrent ainsi une seconde voie de valorisation énergétique pour les plastiques. Ces modes de gestion entraînent une perte totale des matières plastiques, car elles ne peuvent plus être récupérées ou réutilisées. En conséquence, il est nécessaire de produire de nouveaux plastiques vierges pour remplacer ceux éliminés, ce qui accentue la dépendance aux ressources fossiles et perpétue les impacts environnementaux liés à leur production.

442 kt de déchets plastiques collectés sont exportés vers d'autres pays pour leur traitement et recyclage. Selon Federec (Federec, 2018), en 2017, les entreprises françaises et européennes parvenaient encore à écouler leurs déchets plastiques à l'international, en particulier vers des pays asiatiques. Cependant, en 2018, ce marché s'est presque complètement refermé. Les exportations vers des pays hors de l'Union européenne ont chuté de 82 % par rapport à l'année précédente, alors que la baisse en 2017 n'était que de 15 %. En revanche, les exportations au sein de l'UE ont connu une hausse de 59 %, indiquant un fort retour de l'activité vers le marché local européen. En 2018, le marché français représente plus de la moitié des volumes traités par les entreprises de recyclage. D'après Eurostat, les exportations françaises, comprenant celles vers l'Europe et les destinations internationales, ont totalisé 409 kt en 2018, soit une diminution de 12 % par rapport à 2017. Alors qu'en 2017, la Chine importait 250 000 tonnes de déchets plastiques en provenance de France, cette quantité est tombée à presque zéro en 2018. Pour compenser la fermeture du marché chinois, d'autres pays d'Asie du Sud-Est ont commencé à se positionner pour reprendre et traiter ces flux de déchets.

Les fuites de plastiques vers l'environnement

D'après les données ici présentées, le calcul des fuites vers l'environnement (correspondant à une estimation faite par soustraction d'après les autres flux plus précisément évalués) sont évaluées à 65 kt, ce qui apparaît relativement faible par rapport aux flux en circulation en France (moins de 2 % des déchets produits). À titre de comparaison, une étude menée par le WWF évalue ces fuites à 80 kt, soit 2,17 % du gisement, en tenant compte des rejets à différents stades du cycle de vie du plastique. D'autres sources confirment des ordres de grandeur similaires. Parmi celles-ci, les travaux de Jambeck *et al.* (2015), Cordier *et al.* (2021) et Yan *et al.* (2024) fournissent des chiffres comparables, visibles dans les données complémentaires de leurs publications. Ces études utilisant une méthodologie «top-down» présentent des résultats proches pour la France : Jambeck *et al.* (2015)

estiment les déchets plastiques mal gérés à 20 kt pour l'année 2010 en France. Cordier et *al.* (2021), pour l'année 2017, évaluent ces flux à une fourchette allant de 70 à 90 kt, tandis que Yan et *al.* (2024) estiment ce même chiffre à 30 kt pour la même période. L'évaluation de 65kt que nous avons produite correspond ainsi aux ordres de grandeur ici cités. Ainsi, les différentes estimations, qu'elles soient issues d'approches de calculs divers, convergent vers des valeurs proches. Seulement, ce résultat qui peut sembler satisfaisant est probablement lié au fait que la collecte (et donc la propreté de l'espace public) est l'aspect qui a été le plus travaillé par les politiques publiques des dernières décennies. Il est cependant à relativiser en lien avec les coûts de collecte et de nettoyage de l'espace public, en constante augmentation, que cela représente pour l'État et les collectivités territoriales, ainsi que par la persistance de long terme de ces 2 % de déchets dans l'environnement (et de leurs micropollutions attenantes).

La réincorporation des plastiques recyclés : la presque exclusivité des boucles ouvertes

Après avoir présenté et analysé le bilan matières des plastiques en 2018, qui a mis en évidence la part encore limitée des flux réellement recyclés, il paraît essentiel d'examiner plus en détail le fonctionnement de la boucle du recyclage.

En France, bien que le recyclage des plastiques ait connu une progression au cours des dernières décennies, les résultats restent en deçà des attentes. Selon les données de Plastics Europe, le taux de recyclage des plastiques en France n'était que de 25 % en 2020. Concernant les emballages plastiques, 29 % des emballages plastiques sont recyclés en moyenne, tandis que 15 % n'ont pas encore de filières de recyclage, elles sont en cours de développement. Et 20 % des emballages plastiques restent non recyclables à ce jour (Cotrep, 2022).

Ces limites du recyclage actuel invitent à analyser plus finement les flux recyclés et réincorporés. Dans cette perspective, le métabolisme des plastiques peut être construit et analysé à plusieurs échelles. Il est ainsi possible de zoomer uniquement sur les flux de plastiques effectivement recyclés, afin de comprendre les usages de ces matériaux en fonction de leur composition chimique (type de plastique) (*cf.* figure 23).

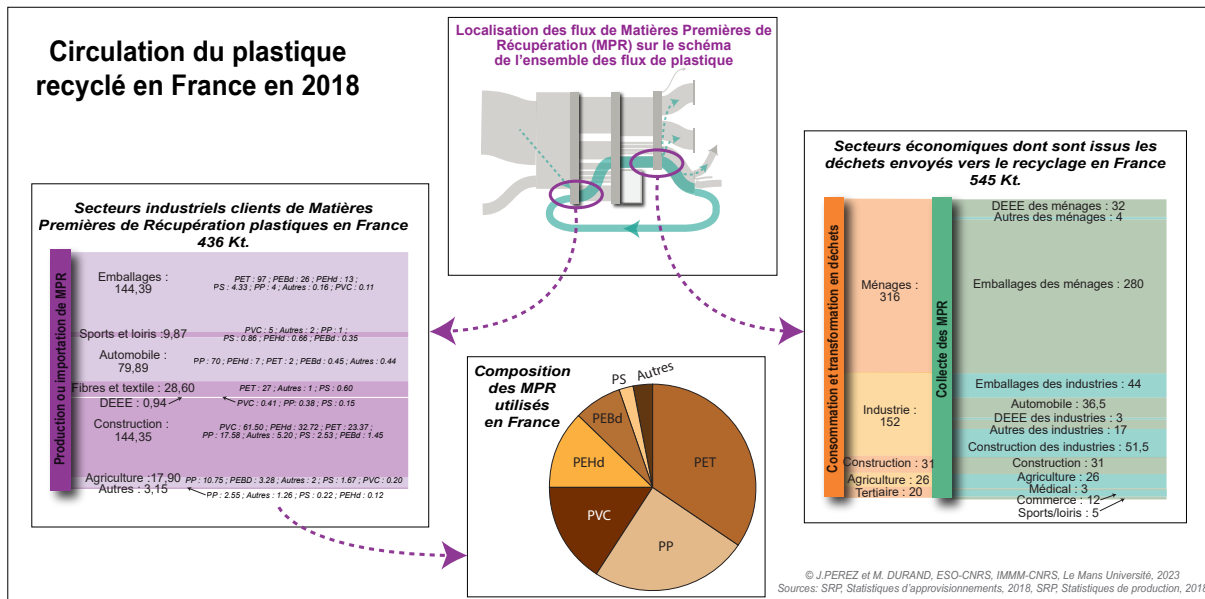


Figure 23 : Circulation du plastique recyclé en France en 2018

Ainsi, si les emballages représentent 59 % des déchets envoyés au recyclage (cf. figure 23), le secteur industriel de l'emballage, qui nécessite une matière première de qualité maîtrisée, n'incorpore que 33 % des MPR. À l'inverse, le secteur de l'automobile envoie peu de déchets plastiques vers le recyclage (7 %), mais incorpore beaucoup de MPR (33 %), tout comme le secteur de la construction (15 % de déchets vers le recyclage, pour 33 % d'incorporation de MPR). On passe donc d'un emballage à usage unique à des usages destinés à rester plus longtemps en circulation (une voiture, un bâtiment), confirmant la notion de boucle ouverte. L'incorporation de plastiques recyclés dans des objets à usage prolongé, tels que les voitures ou les bâtiments, présente certes l'avantage de prolonger la durée de vie des matériaux, mais elle soulève également de nouveaux enjeux environnementaux. En effet, ces objets, soumis à des contraintes mécaniques et climatiques au fil du temps, deviennent des sources potentielles de microplastiques et de nanoparticules. D'ailleurs, l'usure des pneus de véhicules est l'une des principales sources de microplastiques dans l'environnement, représentant environ 30 % des émissions mondiales de ces particules (Boucher & Friot, 2017). De même, l'érosion des matériaux de construction, en particulier les polymères utilisés dans les revêtements extérieurs, contribue à la dissémination des microplastiques dans les milieux naturels.

Les résines les plus réincorporées sont le polyéthylène téréphtalate (PET), le polyéthylène (PE) et le polypropylène (PP), parce qu'elles sont présentes en grandes quantités dans des applications où les flux de déchets sont facilement isolés (comme les emballages en PET) ou parce qu'elles sont moins sujettes à la dégradation lors des cycles successifs de recyclage. Le PET est la résine la plus facilement réincorporée en raison de sa forte utilisation dans les emballages, notamment les bouteilles en plastique, et de la relative pureté du flux de collecte, facilitant son recyclage en boucle fermée (bouteille à bouteille). Ce processus de recyclage est bien maîtrisé et bénéficie d'une filière de recyclage historique avec les infrastructures de collecte et de valorisation développées. Le territoire français alloue d'ailleurs un tiers de ses installations de recyclage plastique à ce polymère (Plastics Recyclers Europe, 2022).

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

Quant au PE et au PP, leur réincorporation est également élevée, notamment dans les secteurs industriels et de la construction. Ces polymères sont largement utilisés dans les produits de longue durée, comme les tuyaux, les équipements agricoles et les produits d'emballage rigides, et leur recyclage est favorisé par la stabilité et la résistance de ces résines à la dégradation lors des processus de recyclage.

Les autres résines, PVC, PS, etc., sont plus difficiles à réincorporer en raison de la complexité des additifs utilisés et des défis techniques liés à leur recyclage, tels que la libération de substances potentiellement dangereuses lors de leur retraitement, mais cela pourrait peut-être changer dans les années à venir si le recyclage chimique se développe à l'échelle industrielle¹⁰².

En 2022, bien que les principaux secteurs intégrant des MPR demeurent similaires à ceux de 2018, leurs taux d'incorporation ont subi des fluctuations notables. Le secteur de l'emballage a vu une augmentation significative, passant de 33 % à 42 %. Ces changements, documentés par le Syndicat des Recycleurs de Plastiques (SRP), font partie des préoccupations exprimées par les acteurs du secteur (SRP, 2022). Elles découlent des obligations réglementaires qui imposent l'incorporation de matières recyclées dans les emballages alimentaires. Ainsi, la loi Agec prévoit que les bouteilles pour boissons en PET devront contenir 25 % de plastique recyclé d'ici 2025, tandis que les bouteilles fabriquées à partir d'autres résines, comme le PE, devront atteindre un taux de 30 % d'ici 2030. À l'échelle européenne, le règlement PPWR fixe également des objectifs ambitieux à l'horizon 2030 : les emballages en PET destinés au contact alimentaire, hors bouteilles, devront intégrer 30 % de matière recyclée ; les autres emballages en contact alimentaires ainsi que les résines autres que le PET devront atteindre 7,5 % ; les bouteilles de boissons en plastique à usage unique devront, elles, incorporer 30 % de matière recyclée ; et enfin, les autres emballages plastiques non mentionnés précédemment devront atteindre un taux de 35 %.

En revanche, les secteurs de la construction et de l'automobile ont connu une réduction marquée de leurs taux d'incorporation, passant respectivement à 24 % et 13 %.

Bien que l'intérêt pour les MPR ait été alimenté par un grand plan national (le Plan de relance France 2030) (cf. chapitre 7) et des incitations à atteindre des taux d'incorporation plus ambitieux, cet engouement demeure fragile, car il reste fortement dépendant de la fluctuation des prix des matières vierges et recyclées. Ainsi, en 2021, la crise sanitaire a favorisé le recours au plastique recyclé : la pénurie de matière vierge a entraîné une hausse de son prix, tandis que le recyclé est devenu plus compétitif. À titre d'exemple, le prix moyen du PEBD vierge atteignait 1 966 €/tonne, contre 988 €/tonne pour le PEBD recyclé¹⁰³. Cependant, les dernières années ont été marquées par de fortes perturbations du marché. La guerre en Ukraine et la crise énergétique ont engendré une hausse des coûts de production pour les recycleurs, créant des tensions sur l'offre et la demande. Par ailleurs, la demande pour le R-PET¹⁰⁴ (PET recyclé) s'est envolée, portée par les obligations réglementaires spécifiques à ce polymère. Cette demande croissante, non suivie par une offre suffisante, a contribué à une augmentation significative de ses prix. Parallèlement, les membres du SRP expliquent que

102 Entretien réalisé avec un chargé de mission chez Elipso, mai 2023

103 [https://www.polyvia.fr/fr/achats-strategie/le-marche-des-matieres-plastiques-recyclees-en-pleine-transition#:~:text=Selon %20l' %C3 %A9dition %20de %20septembre,m %C3 %AAme %20pour %20les %20autres %20mat %C3 %A9riaux](https://www.polyvia.fr/fr/achats-strategie/le-marche-des-matieres-plastiques-recyclees-en-pleine-transition#:~:text=Selon%20l'%C3%A9dition%20de%20septembre,m%C3%AAme%20pour%20les%20autres%20mat%C3%A9riaux.). Consulté en août 2025

104 <https://www.polyvia.fr/fr/economie/prix-du-plastique-les-marches-du-pet-vierge-et-du-pet-recycle-sous-tension> consulté en août 2025

l'essor des filières à Responsabilités Élargies des Producteurs (REP) n'a pas encore conduit à une amélioration significative des déchets disponibles pour les régénérateurs en France. De nombreux régénérateurs ont rapporté des problèmes d'approvisionnement. Ce contexte met en lumière une incapacité à transformer les incitations en résultats concrets, mettant ainsi en question la durabilité des progrès réalisés dans l'intégration des MPR dans les différents secteurs économiques. Le cadre légal, relativement peu contraignant, ainsi que les incitations, bien qu'encourageantes en théorie, apparaissent insuffisants pour assurer un approvisionnement constant et fiable en matières recyclées, pourtant essentiel au soutien de la transition vers une économie circulaire.

Comparatif 2022 des matières plastiques : quelles évolutions par rapport à 2018 ?

Le bilan des matières plastiques de 2018, ainsi que l'analyse de la boucle du plastique recyclé, ont mis en évidence les différentes circulations de ces matières, tout en soulignant la linéarité observée au regard des quantités recyclées. Nous allons désormais passer à la comparaison avec le bilan des matières plastiques de 2022. Le bilan des matières plastiques en 2022 par rapport à 2018 révèle plusieurs évolutions en ce qui concerne la production, la consommation, les échanges commerciaux et la gestion des déchets plastiques. Le bilan de 2022 (*cf.* figure 24) se montre plus complet, au niveau des données disponibles et donc des étapes du cycle de vie des plastiques représentées, que nous détaillons ci-après.

Bilan matières des plastiques en France en 2022 (kt)

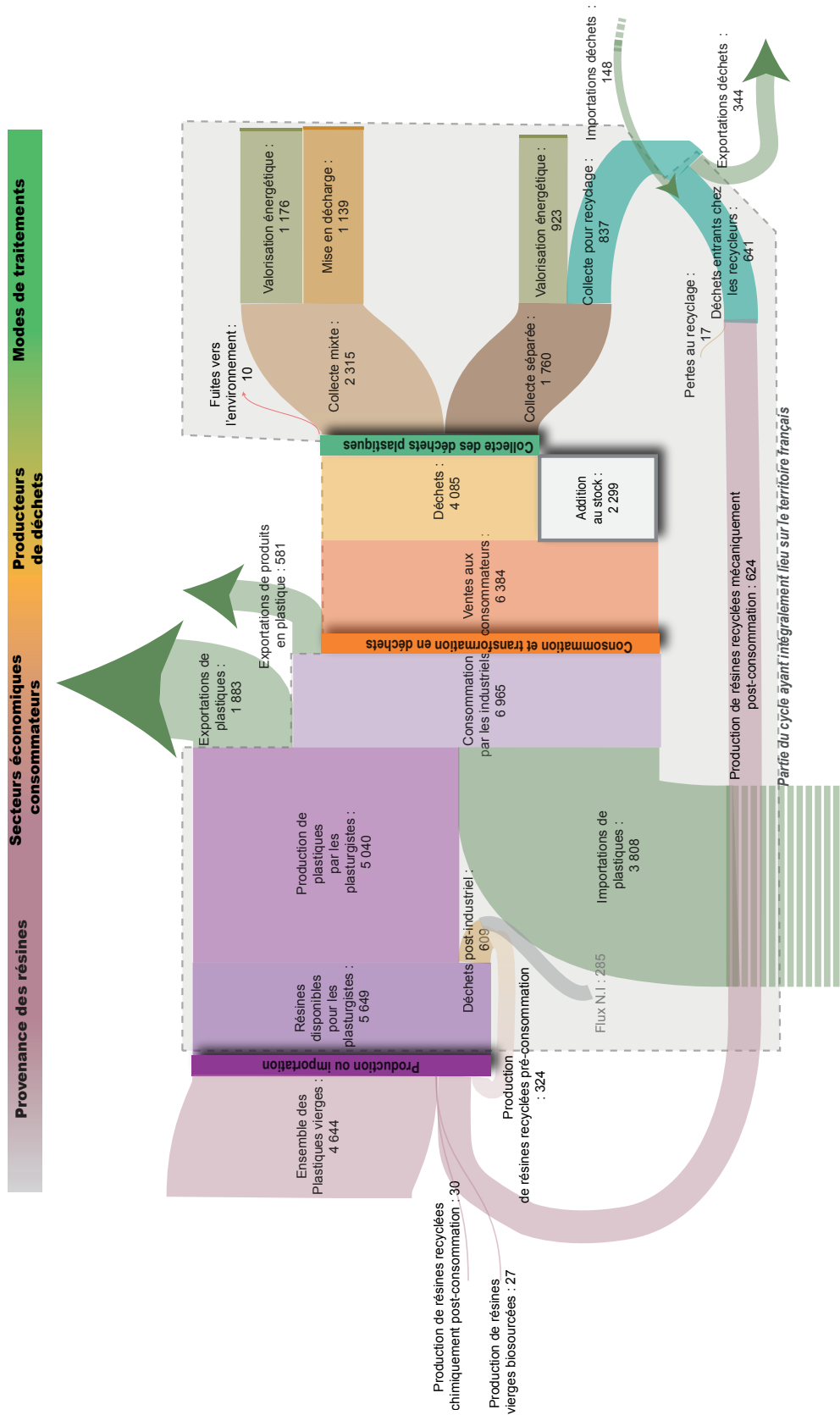


Figure 24 : Bilan matières des plastiques en France en 2022

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.
 Source : France Nation Verte, « Économie circulaire point sur l'avancée des travaux », 2024.

Une dépendance aux échanges internationaux révélée

En 2018, les données disponibles ne permettaient pas d'analyser en détail la production française de résines. En 2022, grâce à une meilleure connaissance statistique, il est désormais possible de retracer ces flux (cf. figure 25). Ils révèlent un système marqué par une forte dépendance aux échanges internationaux et une circularité encore limitée.

Zoom sur les flux entrants de plastiques en France en 2022 (kt)

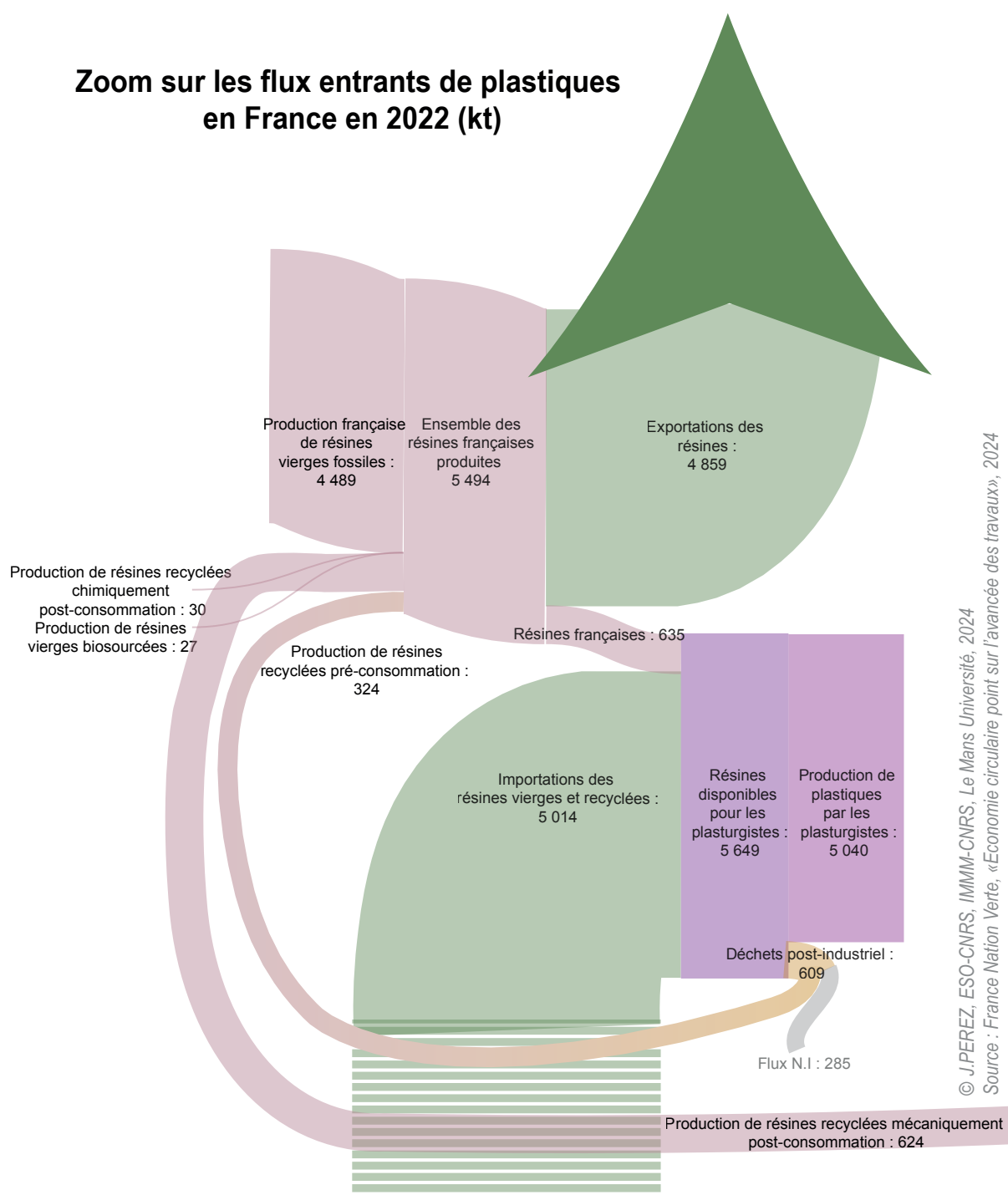


Figure 25 : Zoom sur les flux entrants de plastiques en France en 2022

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

La production nationale de résines s'élève en 2022 à 5 494 kt, dont une écrasante majorité provient de ressources vierges fossiles (4 489 kt, soit plus de 80 %). Les résines recyclées issues du post-consommation mécanique (624 kt) ou chimique (30 kt), ainsi que du pré-consommation (324 kt) représentent à peine 978 kt, soit environ 18 % de la production totale. Cette part, bien que non négligeable, reste marginale face à la domination des résines vierges fossiles.

Cette production nationale bénéficie toutefois très peu aux plasturgistes français. En effet, près de 4 859 kt de résines produites en France sont exportées, soit 88 % du total. À l'inverse, les transformateurs doivent massivement recourir aux importations, qui atteignent 5 014 kt. Au final, sur les 5 649 kt de résines disponibles pour la plasturgie française, seules 635 kt proviennent réellement de la production nationale. La France apparaît ainsi davantage comme un hub d'échanges internationaux qu'un territoire autosuffisant pour son industrie plastique.

Par ailleurs, le rapport du Secrétariat général à la planification écologique (2024) apporte peu d'éléments détaillés sur ce sujet. Il souligne, de manière synthétique, deux points : « peu de visibilité sur les explications et dynamiques derrière ces échanges » et « enjeu des imports de résines vierges chinoises à bas coût, problématiques pour les MPR françaises ».

Cette tendance s'inscrit dans la continuité de la situation observée en 2018 : à l'époque déjà, la dépendance était très marquée, avec 4 816 kt de granulés vierges importés, soit 86 % des flux entrants, contre 5 014 kt en 2022 (soit 89 %).

La transformation des résines par les plasturgistes met également en lumière des pertes significatives, des données qui ne sont pas accessibles pour 2018. Sur les 5 649 kt disponibles, 5 040 kt sont converties en plastiques finis, tandis que 609 kt se retrouvent sous forme de déchets post-industriels, soit environ 11 % des flux entrants. Parmi ces déchets, 324 kt sont réintroduits dans le cycle comme résines recyclées pré-consommation, mais 285 kt demeurent non identifiés, échappant ainsi à la circularité.

Le schéma n°25 distingue également clairement la production de résines recyclées pré-consommateurs (324 kt recyclées mécaniquement) et post-consommateurs (624 kt recyclées mécaniquement). En 2018, seule la production de 622 kt de MPR (matières plastiques recyclées), était évoquée sans distinction entre ces deux types de régénération. Le recyclage pré-consommateur désigne les déchets plastiques générés lors de la fabrication et la transformation des plastiques, avant qu'ils ne soient utilisés par les consommateurs. Ces déchets incluent des chutes de production, des rebuts et des matériaux qui n'ont jamais quitté les usines. Ils sont généralement plus faciles à recycler, car ils n'ont pas été contaminés et car ils sont plus homogènes. Le recyclage post-consommateur concerne quant à lui les déchets plastiques produits après utilisation par les consommateurs. Le recyclage de ces plastiques est plus complexe, nécessitant des étapes de collecte, de tri et de décontamination avant leur revalorisation, puisqu'ils sont issus de gisements très disparates en termes de matières et très diffus dans le territoire.

De plus, l'apparition dans le graphique 25 des résines recyclées chimiquement, avec une production de 30 kt, marque l'entrée de cette technologie de recyclage dans les flux français de matières plastiques. Cela signifie que la filière du recyclage chimique, jusque-là absente ou négligeable, commence à se structurer et à être comptabilisée dans les bilans nationaux. Même si le volume reste marginal (à peine 0,5 % de la production totale de résines), il traduit une volonté d'élargir les capacités de recyclage au-delà du seul recyclage mécanique, afin de traiter des plastiques plus complexes et difficiles à recycler. Depuis 2018, les investissements et la recherche sur le recyclage chimique ont

considérablement évolué, renforcés par les politiques européennes et françaises. En 2022, l'État français lance le Plan France 2030 et met à disposition 300 millions d'euros de financements dans l'appel à projets pour les industriels « Recyclage des plastiques », boostant le développement des projets de recyclage chimique. Depuis, de nombreux acteurs¹⁰⁵ de la pétrochimie investissent dans celui-ci, comme Eastman, TotalEnergies, LyondellBasell et Sabic, ainsi que des startups, comme Plastic Energy Carbios et Polyloop en France, ou encore Plastogaz. Si ces investissements progressent rapidement, les usines de recyclage chimique sont encore à l'échelle pilote ou en phase de démonstration industrielle.

Enfin, une autre nouveauté concerne l'introduction des résines vierges biosourcées dans le bilan 2022, avec une production de 27 kt. Le volume encore très limité (0,5 % de la production totale) montre que cette filière reste embryonnaire et ne pèse pas encore sur l'équilibre global du système. Cette émergence traduit la volonté de certains metteurs sur le marché de commercialiser des plastiques issus de ressources renouvelables. Elle est portée par un contexte marqué à la fois par une pression croissante pour réduire la dépendance aux ressources fossiles et par la nécessité de répondre, notamment sur le plan marketing, aux attentes en matière de plastiques alternatifs. Toutefois, leur diffusion reste freinée à la fois par des contraintes techniques, économiques et environnementales : « aujourd'hui, il y a de nouvelles résines qui arrivent, comme par exemple le PLA. Mais en réalité, il n'y a pas encore de tonnage du PLA alors qu'on en parle beaucoup. Si d'autres résines arrivent sur le marché, il va falloir prouver leurs intérêts environnementaux et que leur impact soit meilleur qu'une des quatre résines (PET, PE, PP et PS). Il faut également un accord du marché pour que cette nouvelle résine remplace une autre résine. Le critère de performance est très important » (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022).

À ce stade initial du cycle, les données concernant les importations et exportations de résines sont mises en avant, alors qu'elles n'étaient pas disponibles en 2018. Cela met en lumière la dépendance de la plasturgie française aux marchés mondiaux, aussi bien pour son approvisionnement que pour l'écoulement de sa production. Ces mouvements peuvent être motivés par des besoins spécifiques en types de polymère non produits localement ou à des prix plus compétitifs dans d'autres pays. Par ailleurs, le bilan 2022 intègre également de nouvelles boucles de recyclage, qu'il s'agisse du recyclage chimique ou du recyclage pré-consommateur, ce qui témoigne de l'évolution des données disponibles et permet de rendre visibles des circularités qui n'apparaissaient pas dans le bilan matières de 2018.

Une évolution de l'utilisation des plastiques et des échanges commerciaux

Entre 2018 et 2022, l'utilisation de résines par les plasturgistes a légèrement augmenté, passant de 5 599 kt à 5 649 kt, soit une hausse modeste de 0,9 %. Après la transformation de 5 040 kt de polymères par les plasturgistes, la France exporte 1 883 kt de plastiques sous forme de produits finis. Parmi ces produits finis, on note que, dans le domaine des emballages plastiques (qui, pour rappel, représentent 39 % des plastiques), la France est le troisième producteur européen d'emballages plastiques, se plaçant derrière l'Allemagne et l'Italie¹⁰⁶.

105 <https://www.polyvia.fr/fr/recyclage-chimique-ou-en-sommes-nous-definition-tendance> consulté en août 2025

106 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5016665> consulté en août 2025

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

En 2022, la consommation de plastique par les différents secteurs économiques a augmenté pour atteindre 6 965 kt, soit une hausse de 24,4 % par rapport à 2018. À cette étape, 3 808 kt de produits finis en plastique sont également importés et une autre partie exportée (581 kt). Laissant, 6 384 kt de produits plastiques vendus aux consommateurs finaux. Si le bilan matière de 2018 inclut des détails sur la consommation par type de secteur, en 2022, les données de cette répartition sectorielle ne sont pas disponibles à un niveau aussi précis.

Ces échanges montrent que les flux de plastique ne se limitent pas aux résines brutes, mais comprennent également des produits finis variés. En réalité, la France importe et exporte à la fois des résines plastiques et des produits finis ou partiellement constitués de matières plastiques. La base de données UN Comtrade permet de visualiser ces échanges pour 2022¹⁰⁷. Parmi les produits recensés figurent de nombreux polymères, tels que le polypropylène ou le polystyrène expansible. Ensuite, on trouve les produits finis en plastique, constitués majoritairement de polymères. Il s'agit d'objets allant des tubes et tuyaux en polyéthylène aux revêtements de sols, murs ou plafonds en PVC, en passant par les boîtes, caisses et casiers pour le transport ou l'emballage, les bonbonnes et bouteilles, la vaisselle et les ustensiles de cuisine, les articles ménagers et d'hygiène, ainsi que les fournitures scolaires et de bureau. S'ajoutent également les articles de construction, comme les portes et fenêtres, les articles d'habillement, les raccords pour meubles ou carrosseries, ainsi que les statuettes et objets décoratifs. Les volumes importés et exportés de ces produits, qui s'élevaient en 2022 à 3 808 kt d'imports et 1 883 kt d'exports, correspondent principalement à cette catégorie.

Il convient également de prendre en considération la part de plastiques circulant de manière moins visible, car elle est intégrée dans des produits qui ne sont pas officiellement classés comme plastiques. Nous supposons que ces produits contiennent des composants en plastique, mais leur teneur exacte en polymères n'est pas renseignée dans les statistiques et n'est donc pas prise en compte dans les bilans officiels.

Une hausse des quantités de déchets

En 2018, la France a produit 3 663 kt de déchets plastiques et l'addition au stock était de 1 936 kt. En 2022, la production de déchets plastiques a continué de progresser, atteignant 4 085 kt, soit une hausse de 11,5 %. Cette augmentation suit la tendance de la consommation accrue. Parallèlement, l'addition au stock a atteint 2 299 kt, marquant une augmentation de 18,7 %, suggérant une accumulation croissante de plastiques non encore éliminés, qui le seront dans les années à venir ou qui se dégraderont dans l'environnement, relarguant ainsi des microplastiques.

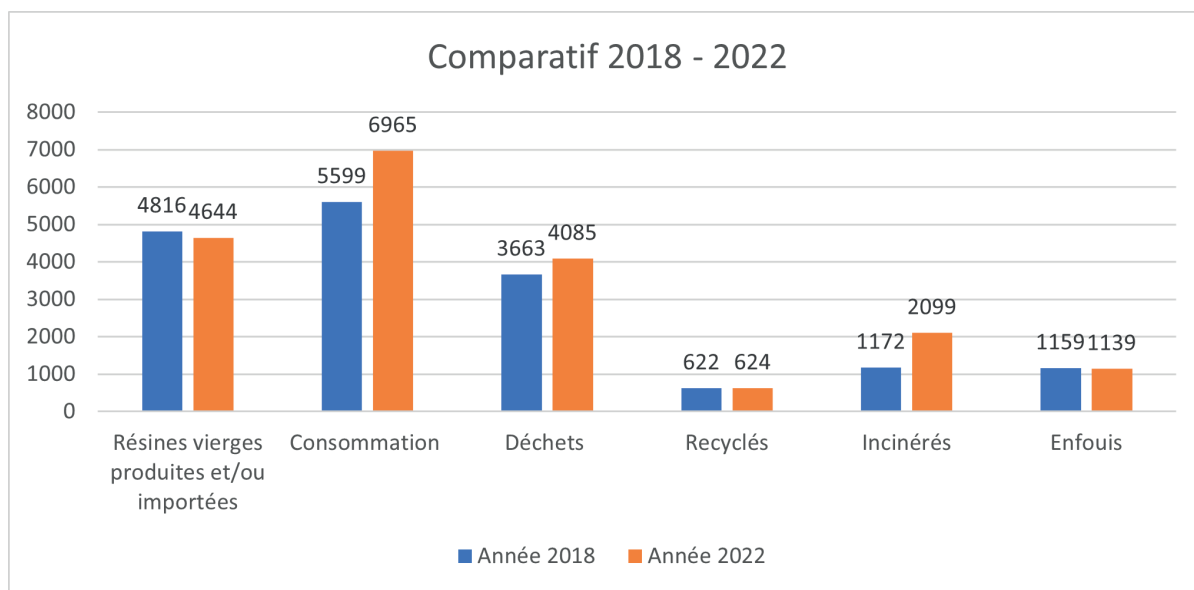
En 2022, deux types de collectes sont mis en évidence avant que les plastiques ne soient envoyés vers les différentes voies de traitement : la collecte séparée et la collecte mixte. La collecte séparée, qui s'élève à 1 760 kt, consiste à trier les déchets directement à la source par les citoyens, les entreprises et les industries, permettant ainsi de diriger les plastiques recyclables vers la filière de recyclage adaptée (837 kt). Les plastiques triés n'ayant pas de filière de recyclage développée prennent alors le chemin de la valorisation énergétique (923 kt). Il faut aussi souligner que la collecte pour recyclage a diminué, passant de 1 267 kt en 2018 à 837 kt en 2022. À l'opposé, la collecte mixte (2 315 kt), également connue sous le nom de collecte des ordures ménagères résiduelles, concerne les déchets qui

107 https://data.un.org/Data.aspx?d=ComTrade&f=_11Code%3A40 consulté en août 2025

ne sont pas triés à la source. Cela concerne des déchets plastiques, dont certains sont non recyclables, d'autres mal triés, mélangés à tous les autres types de déchets (organiques, métaux, etc.), qui seront dirigés vers la valorisation énergétique (1 176 kt) ou l'enfouissement (1 139 kt). En 2018, les données ne sont pas disponibles concernant la différence entre ces deux types de collectes. Au global, on observe en 2022 une augmentation des quantités de déchets orientés vers l'incinération et le stockage, ainsi qu'une diminution des collectes destinées au recyclage. Néanmoins, la production de plastiques recyclés mécaniquement est légèrement plus élevée en 2022 (624 kt) qu'en 2018 (622 kt). Les fuites de plastiques vers l'environnement, que nous avons estimées à 65 kt en 2018 (*cf. infra*), s'élèvent à 10 kt en 2022, selon le Secrétariat général à la planification écologique (2024). Afin de vérifier cette donnée et de la rendre comparable à celle de 2018, nous avons appliqué la même méthode de calcul (*cf. tableau 3*), ce qui conduit également, pour 2022, à une estimation de 10 kt de fuites vers l'environnement. Cette réduction estimée ne reflète pour autant pas forcément une baisse réelle des fuites, car ces chiffres restent difficiles à quantifier avec précision en raison de la complexité des méthodologies utilisées selon les sources. On peut donc globalement considérer ce chiffre comme relativement stable.

Un système productiviste soutenu par le recyclage

Le bilan matière de 2022 offre ainsi un aperçu plus détaillé que celui de 2018, grâce à une plus grande disponibilité des données. Il complète ainsi la première analyse des flux. Il révèle aussi une augmentation des quantités de plastiques à chaque stade du cheminement, illustrant la croissance continue de la production et de la consommation de ces matériaux (*cf. figure 26*). Un élément clé de ce bilan est la mise en évidence des trois boucles du recyclage (recyclage mécanique des déchets post-industriels, recyclage mécanique des déchets post-consommation et importations de polymères recyclés chimiquement). Ces boucles montrent, bien que le recyclage progresse, qu'une proportion significative des plastiques en fin de vie continue d'être gérée de manière linéaire, à travers les solutions techniques de traitement, telles que l'enfouissement et la valorisation énergétique. En somme, ce bilan met en lumière non seulement l'ampleur des flux de plastiques, mais aussi les efforts qu'il reste à fournir en termes de réduction dans un premier temps et de recyclage dans un deuxième. Si le recyclage est devenu la solution brandie par de nombreux acteurs (*cf. chapitres suivants*) pour traiter la problématique des déchets plastiques, il reste dans les faits très faible et ne permet pas de s'attaquer aux enjeux plus profonds que constitue la surproduction. Malgré tous les efforts mis en place pour recycler les plastiques et prolonger leur cycle de vie, le système économique sous-jacent reste productiviste, c'est-à-dire basé sur la croissance continue et la production de toujours plus de biens de consommation, notamment en plastique. Le recyclage n'élimine pas ce modèle, il l'accompagne, voire le soutient, en permettant la production de nouveaux plastiques tout en offrant un débouché pour les matériaux usagés. Le recyclage devient alors un outil d'atténuation des conséquences plutôt qu'une véritable solution au problème global de la pollution plastique. Cela remet en question le concept même de l'économie circulaire tel qu'il est appliqué actuellement, qui, loin de son objectif premier, répond plutôt aux symptômes (les déchets) sans traiter les causes (la surproduction).



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2025

Figure 26 : Augmentation des flux plastiques entre les années 2018 et 2022

Une évolution lente des flux en fin d'usage

Si, en 2018 et 2022, le métabolisme du plastique est très peu circulaire, le constat est similaire sur une période plus longue. L'intérêt de la figure 27 est de montrer que les flux de plastique n'évoluent que sur un temps relativement long, puisque sur une période de seize ans (2006 à 2022), la distribution d'ensemble des flux n'évolue que de façon douce.

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

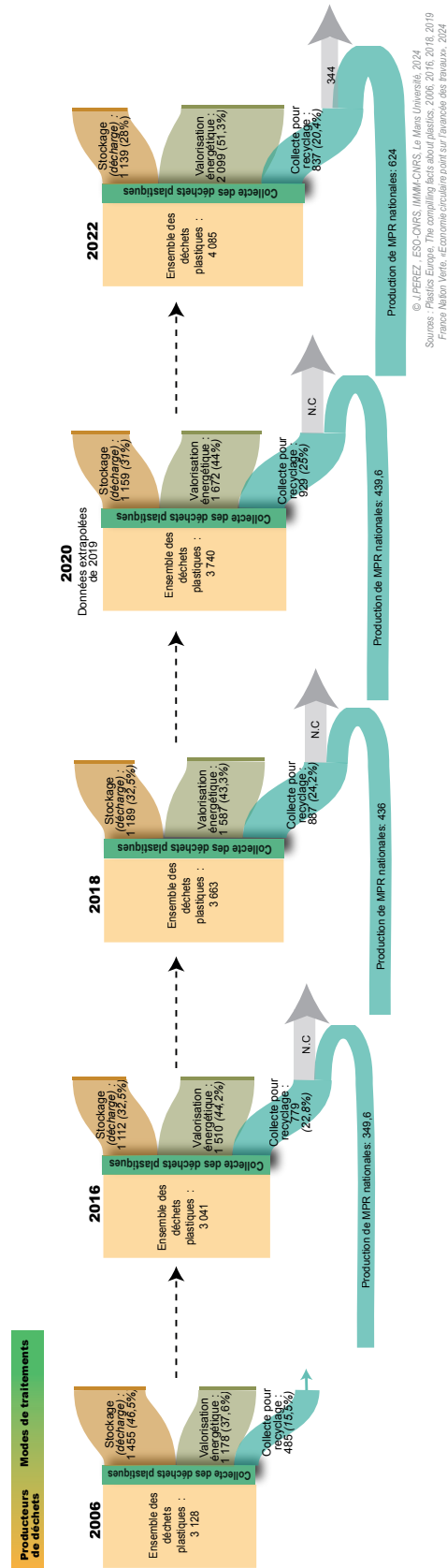
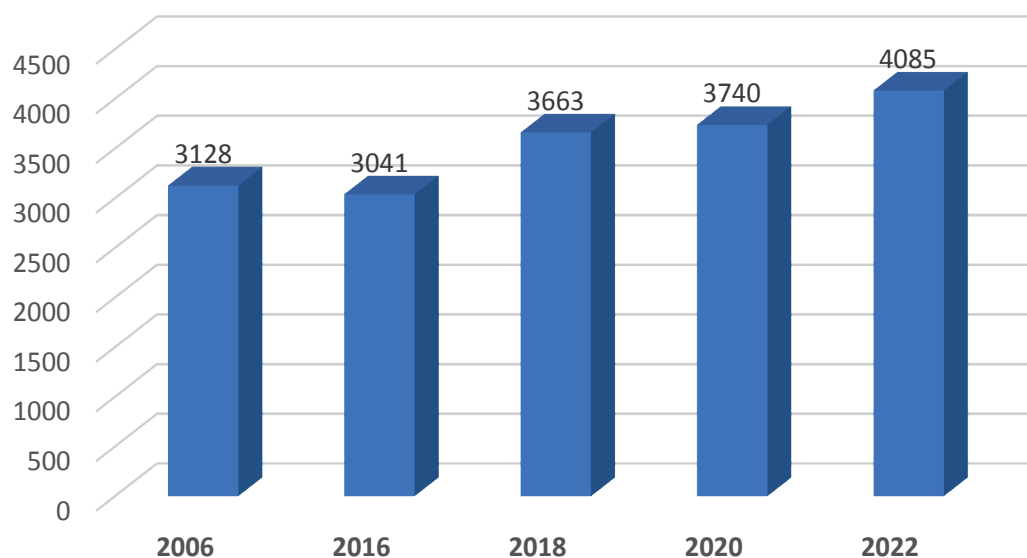


Figure 27 : Évolution des flux plastiques en fin d'usage de 2006 à 2022 (en kt)

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

Nous observons que ces données, produites par le syndicat professionnel européen des plasturgistes « Plastics Europe », sont légèrement différentes de celles de l'ADEME, indiquant notamment une proportion plus élevée de déchets dirigés vers la valorisation énergétique, contre de moins bons résultats concernant la collecte pour recyclage et la production de MPR. Ce décalage peut s'expliquer par des sources de données et des méthodes de calcul différentes. Les données de Plastic Europe indiquent qu'après une certaine maîtrise de la production de déchets plastiques entre 2006 et 2016, en lien avec la crise économique de 2008, leur production a ensuite augmenté fortement entre 2016 et 2022 (+ 34 %).

Concernant le devenir des déchets, la figure 27 montre une baisse de 14 % des déchets mis en décharge (stockage) entre 2006 et 2016, puis une stagnation aux alentours de 30 % jusqu'en 2022, passant de 32,5 % en 2016 à 28 % en 2022. Ce taux de mise en décharge reste aujourd'hui élevé avec 7,6 points de plus que la moyenne européenne (Préville, Bolo, 2021). A contrario de la mise en décharge, la valorisation énergétique (incinération) des déchets plastiques passe de 38 % des gisements en 2006 à 51 % en 2022. Enfin, sur les quatorze années, on observe une augmentation assez importante de 62 % de la collecte des déchets plastiques pour recyclage, qui passe de 15,5 % des déchets produits en 2006 à 25 % en 2020, permettant dans le même temps une augmentation de la production nationale de MPR. Néanmoins, une légère baisse est observée en 2022, où ce taux descend à 20 %. Cette baisse peut résulter d'un ensemble de facteurs économiques (fluctuations de la demande en MPR), logistiques (réduction des exportations à l'étranger, infrastructures à développer), des ajustements méthodologiques ou des différences dans la manière dont les données ont été collectées et rapportées en 2022. Malgré cette baisse, la tendance générale est plutôt à la hausse sur cette longue période ; cela ne doit en effet pas masquer que la production de déchets plastique augmente constamment (+34 % entre 2016 et 2022).

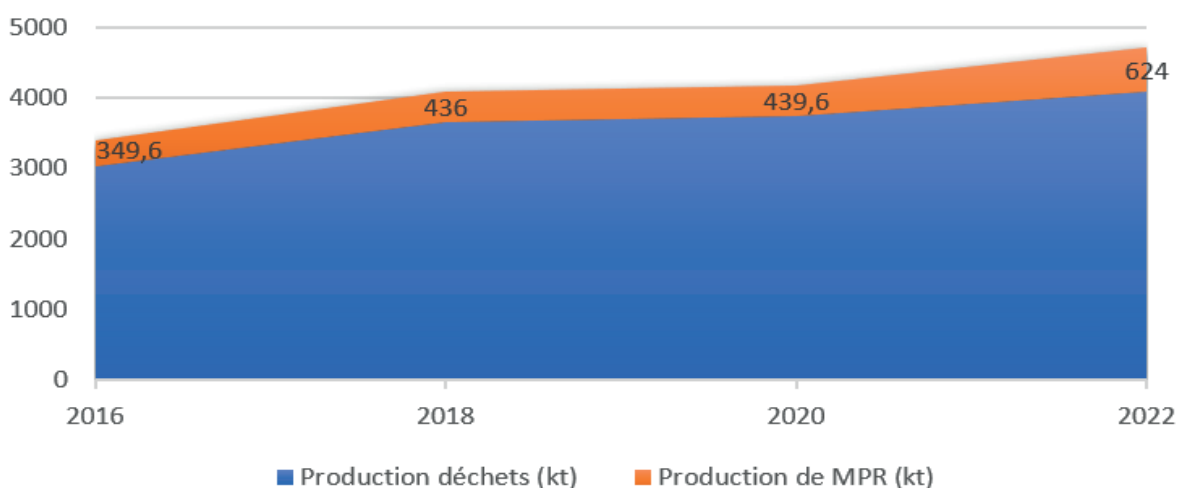


© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024
Source : Plastics Europe, Plastics the facts, 2007 à 2023

Figure 28 : Évolution de la production de déchets plastiques

En effet, on observe une tendance générale à l'augmentation de la production de déchets plastiques (cf. figure 28) sur cette période, avec une légère baisse entre 2006 et 2016, puis une augmentation continue par la suite. Ainsi, la production de déchets plastiques augmente progressivement au fil des années, passant de 3 128 kt en 2006 à 4 085 kt en 2022. Cela confirme la tendance globale d'une augmentation continue de la production de plastique au cours des dernières années, une dynamique qui devrait se poursuivre puisque les évolutions en cours ne semblent pas orienter une bifurcation majeure (cf. chapitres suivants).

Dans le même temps, la production de MPR destinée à alimenter l'industrie de la plasturgie a également augmenté, passant de 349,6 kt en 2016 à 624 kt en 2022, soit une hausse qui permet quasiment de doubler les volumes. Cependant, durant cette même période, la production totale de déchets plastiques a elle aussi augmenté progressivement de 34 % (cf. figure 29). Même si la production de matières plastiques recyclées a connu une augmentation notable (78 %), cette progression reste insuffisante pour compenser l'accélération de la production totale de déchets plastiques, la part des MPR ne représentant ainsi que 15,3 % des déchets totaux en 2022, contre 11,5 % en 2016.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024
Source : Plastics Europe, Plastics the facts, 2018 à 2023

Figure 29 : Évolution des MPR par rapport à la production de déchets plastiques

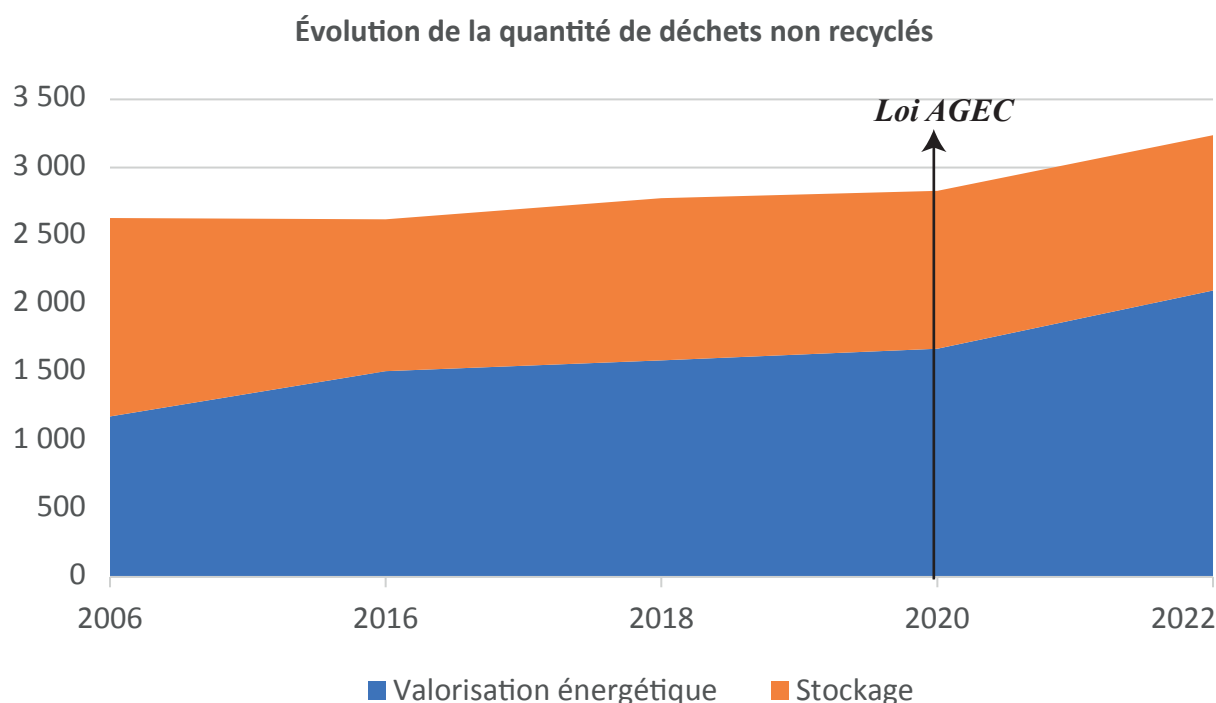
Cette évolution des flux en fin d'usage peut être corrélée aux réglementations compliquant et renchérissant le coût des déchets mis en décharge¹⁰⁸ d'une part (à travers la TGAP – Taxe Générale sur les Activités Polluantes)¹⁰⁹, incitant et finançant leur recyclage d'autre part (à travers le mécanisme des filières REP – Responsabilité Élargie du Producteur). L'incinération est alors en situation intermédiaire entre ces deux pôles, restant toutefois moins prioritaire que le recyclage et faisant l'objet d'une taxation et non d'un financement. La financiarisation de l'industrie des déchets, telle que décrite au niveau global par Nicky Gregson (« *The waste of the world* », 2023), à travers le mécanisme des filières REP (Jourdain, 2023), vient ainsi encadrer l'évolution du métabolisme

108 Même si l'enfouissement reste encore aujourd'hui souvent plus économique que d'engager un processus de recyclage.

109 Décret n° 2021-1199 du 16 septembre 2021 relatif aux conditions d'élimination des déchets non dangereux.

des plastiques. Nous pouvons donc faire l'hypothèse que, dans les années à venir, la diminution des quantités incinérées et les mises en décharge se poursuivront au profit de l'augmentation des taux recyclés. Il s'agit là d'un des objectifs de la Loi relative à la lutte contre le gaspillage alimentaire et pour l'économie circulaire, dite loi Agec, qui fixe l'objectif utopique (voir naïf) de 100 % de plastiques à usage unique recyclés d'ici 2025 (même si l'Ademe et les gestionnaires de déchets interprètent ce point comme 100 % de plastique valorisé – c'est-à-dire recyclés, mais également valorisés sous forme d'énergie). Une autre mesure phare de cette loi est la disparition des plastiques à usage unique pour 2040, permettant d'ouvrir la réflexion sur un objectif d'autant plus ambitieux : celui de la réduction des plastiques.

Même s'ils vont dans la bonne direction, ces taux du recyclage ne doivent pas pour autant masquer la croissance de la production de déchets plastiques, qui se trouve être plus rapide que celle de l'incorporation de MPR. Dans la réglementation et la hiérarchie des modes de traitement, la réduction des déchets reste prioritaire face au recyclage. Si l'effet rebond de l'augmentation du recyclage entraîne l'augmentation de la production de déchets plastiques (induisant son lot d'extraction de matières premières pour le produire), une telle circularité métabolique, avec des flux de plus en plus gros, n'aurait pas d'intérêt environnemental. L'enjeu de l'organisation institutionnelle ayant permis d'offrir un équilibre financier à l'activité du recyclage (les filières REP depuis 1992) était de favoriser la valorisation des déchets avant, depuis la loi Agec de 2020, de commencer à prendre en compte leur réduction (Durand, 2024). Si cette logique a fonctionné avec certains matériaux, elle n'en est qu'à ses prémices avec les plastiques, pour lesquels l'incitation financière au recyclage à l'œuvre depuis plus de 30 ans reste manifestement peu puissante.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024
Source : Plastics Europe, Plastics the facts, 2007 à 2023

Figure 30 : Évolution de la quantité de déchets non recyclés

Chapitre 5 - Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire

Le graphique 30 montre une augmentation continue de la quantité de déchets plastiques non recyclés depuis 2006. Cette hausse indique qu'en dépit des efforts de tri et de recyclage des déchets plastiques, le volume de déchets non recyclés reste important. La loi AGEC de 2020, bien qu'ambitieuse dans ses objectifs de réduction des déchets, d'amélioration du recyclage et de limitation du stockage, n'a pas eu un impact visible sur la diminution des déchets non recyclés dans les années qui suivent son adoption ; au contraire, une augmentation des volumes est observée.

Comme le souligne Monsaingeon (2022) « pis encore, l'optimisation du recyclage est à l'origine d'un paradoxe productif : plus on recycle, mieux on recycle, plus la production de déchets augmente. C'est un effet rebond caractéristique de l'optimisation des systèmes techniques modernes : loin de garantir la réduction nécessaire des flux de matière en amont ou en aval de la consommation, le recyclage s'inscrit tel un moteur productif, comme un outil permettant de légitimer la production de déchets réputés recyclables ». Ce paradoxe est reflété dans le graphique n° 30, où l'augmentation continue des déchets non recyclés malgré les efforts législatifs et techniques souligne la limite du recyclage comme solution unique au problème des déchets. Au lieu de réduire les flux de matière en amont (moins de production de plastique), le recyclage semble légitimer et même encourager une production accrue de déchets.

Conclusion partie 2

Pour la première fois, le métabolisme des plastiques en France a été quantifié et représenté graphiquement sous forme de flux proportionnels, permettant d'illustrer de manière précise leur circulation. Cela intervient dans un contexte où les acteurs publics et économiques présentent les flux plastiques de façon très circulaire et axée sur le recyclage, donnant ainsi l'illusion d'une circularité importante et effective. Or, cette représentation proposée par certains acteurs ne reflète pas la réalité, comme nous l'avons démontré à travers la forte linéarité des flux plastiques encore à l'œuvre aujourd'hui. De surcroît, les données publiques sur les quantités de plastiques restent à ce jour incomplètes, partiellement non divulguées ou tout simplement non calculées.

Les analyses des flux plastiques français proposées dans ce chapitre mettent en évidence plusieurs constats structurants. Le plus saillant concerne la faiblesse du recyclage : en 2018, la production nationale de matières plastiques recyclées (MPR) était de 622 kt ; elle n'a augmenté que légèrement en 2022, atteignant 641 kt.

Cette évolution, qui pourrait sembler positive par rapport à 2006 (où seuls 485 kt, soit 15,5 %, étaient collectés pour recyclage), doit être nuancée. En effet, le volume total de déchets plastiques ne cesse de croître : de 3 128 kt en 2006 à 4 085 kt en 2022 (+30 %). En conséquence, même si les tonnages de plastiques recyclés progressent en valeur absolue, la croissance de la production de déchets plastiques limite fortement l'efficacité globale du système.

Par ailleurs, le recyclage reste très inégal selon les secteurs. Il est principalement concentré sur les emballages, qui constituent le flux le mieux collecté et orienté vers le recyclage : en 2018, les déchets d'emballages représentaient 2 345 kt sur l'ensemble des déchets plastiques, et ce secteur affiche les taux d'incorporation de matières recyclées les plus élevés (33 % des MPR). Le secteur automobile et celui de la construction présentent, eux aussi, un taux d'incorporation comparable (33 %), mais envoient relativement peu de déchets plastiques vers le recyclage (respectivement 7 % et 15 %). Cela s'explique en grande partie par des dispositifs de collecte et de valorisation encore insuffisamment développés dans ces filières. En revanche, d'autres secteurs, tels que l'agriculture, les DEEE ou encore les sports et loisirs, affichent à la fois de faibles performances de collecte pour recyclage et de faibles taux d'incorporation de MPR.

En somme, les bilans de 2018 et 2022, ainsi que l'évolution sur la période 2006-2022, montrent une amélioration progressive de la collecte pour recyclage, mais sans véritable rupture : le taux reste faible (20 % en 2022), et cette dynamique est largement induite par l'augmentation continue de la production et de la consommation de plastiques. La France se trouve donc face à un double enjeu : réduire la production de déchets plastiques à la source et élargir le champ du recyclage au-delà du seul secteur des emballages, afin d'avancer vers une véritable circularité des flux plastiques.

Cette analyse quantitative sera complétée, dans la partie suivante du manuscrit, par une étude approfondie de la filière des plastiques, centrée sur les pratiques des acteurs¹¹⁰ ainsi que sur leur perception et leurs actions en matière de circularité des plastiques.

110 Trente-cinq entretiens semi-directifs ont été menés auprès de professionnels de la chaîne de valeur des plastiques français.

Partie 3

Les plastiques sous le regard des acteurs et du système en place

Après avoir tracé, quantifié et analysé les circulations des flux plastiques à l'échelle nationale, il s'agit désormais de dépasser l'angle matériel des flux pour s'interroger sur les logiques qui les orientent et les mécanismes décisionnels qui en déterminent la structuration. Cette troisième et dernière partie de la thèse est ainsi consacrée à l'étude des dynamiques de jeu d'acteurs de la filière plastique. Plus précisément, nous nous intéressons aux rôles et aux positionnements des différents acteurs impliqués, ainsi qu'aux discours qu'ils et elles mobilisent autour de la circularité des plastiques. Cette analyse s'attache à saisir la manière dont, au niveau institutionnel, économique et technique, se construisent les arbitrages et orientations qui façonnent la trajectoire de la filière. Afin de documenter ces mécanismes, nous avons conduit trente-cinq entretiens semi-directifs auprès d'un ensemble diversifié d'interlocuteur·rices, permettant de confronter les points de vue et de révéler la diversité des discours et visions relatifs aux circulations de ces flux.

Le sixième chapitre, en continuité avec la structuration de la deuxième partie, ouvre cette troisième section en s'attachant à expliciter l'approche méthodologique adoptée. Il est ainsi consacré à la présentation des outils qualitatifs mobilisés, en particulier les entretiens semi-directifs et les observations de terrain, qui constituent le cœur de notre démarche d'enquête qualitative. Ce chapitre propose également une présentation détaillée des interlocuteur·rices rencontré·es, de leurs profils et de leurs ancrages institutionnels, économiques ou techniques, de manière à situer les matériaux recueillis dans leur contexte et à expliciter la portée des résultats qui en découlent. Enfin, les thématiques structurantes de la grille d'entretien utilisée seront explicitées, de manière à rendre compte des principaux axes de questionnement qui ont guidé la conduite des entretiens et orienté la production des matériaux empiriques.

Le septième chapitre sera consacré à l'analyse approfondie des acteurs qui composent la chaîne de valeur des plastiques. Il s'agira d'examiner non seulement leurs rôles et leurs positionnements respectifs au sein de cette chaîne, mais également la manière dont ils et elles envisagent la circularité des flux plastiques. Cette exploration permettra de mettre en lumière les représentations, stratégies et priorités parfois convergentes, parfois divergentes, qui orientent leurs actions. L'analyse s'attachera également à décrypter les dynamiques relationnelles et les rapports de pouvoir qui se déploient entre ces acteurs, en considérant les alliances, tensions et négociations qui structurent les jeux d'acteurs dans la filière. À travers cette approche, il s'agira de saisir comment les trajectoires possibles de la circularité se construisent et se confrontent au sein de l'espace de la chaîne de valeur.

Enfin, le huitième chapitre viendra clore cette troisième partie. Il s'agit à la fois d'un chapitre d'analyse - portant sur les jeux d'acteurs, le rôle du cadre réglementaire dans leur passage à l'action et leur vision de la circularité des flux plastiques - et d'un chapitre d'ouverture, moins centré sur le recyclage, mais orienté vers le réemploi des plastiques et la mise en place de boucles de circularité à l'échelle locale.

Chapitre 6 : Une enquête de terrain pour comprendre et analyser le système d'acteurs en place

Afin de compléter l'analyse des flux matériels et d'explorer plus en profondeur les dynamiques en jeu, une analyse des jeux d'acteurs a été menée. Ce travail a nécessité une étape préalable d'identification précise des parties prenantes et des structures impliquées dans la filière. Par la suite, des prises de contact ont été effectuées¹¹¹, pour la réalisation d'entretiens permettant d'engager un dialogue direct avec les acteurs clés, afin de mieux saisir leurs logiques d'action et leurs stratégies relatives aux matières plastiques.

Les flux de matières plastiques sont orientés et contrôlés par un ensemble d'acteurs allant des producteurs de résines aux gestionnaires de déchets, en passant par les transformateurs, les distributeurs, les consommateurs et les pouvoirs publics, chacun jouant un rôle clé dans la gestion, la transformation, l'utilisation et la valorisation de ces matériaux. Tous ont des rôles et des dynamiques différentes à tenir. Le chapitre précédent s'est concentré sur la circulation de ces flux. L'analyse du métabolisme qui en a découlé a apporté des informations pour mieux comprendre les dysfonctionnements rencontrés par la filière dans la fermeture des boucles de flux de matières plastiques. Cela nécessite d'approfondir cette étude en regardant aussi le contexte territorial et social, suivant la double approche de l'écologie territoriale : « elle consiste à analyser le territoire d'étude à travers son métabolisme, ses jeux d'acteurs, de façon non seulement à mieux le caractériser, mais aussi à identifier des pistes de transformation prenant en compte ces enjeux » (Buclet et al., 2015). Parallèlement, l'approche de la *Political Industrial Ecology* enrichit cette analyse en regardant les caractéristiques socio-économiques des flux : « cela implique de lier explicitement le pouvoir politique et économique aux impacts écologiques et humains. Cela nécessite nécessairement une discussion sur les structures réglementaires, les différents acteurs et les choix politiques possibles »¹¹² (Pincetl & Newell, 2017). Il est donc maintenant important de mieux comprendre la manière dont le système d'acteurs est structuré et interagit, en prenant en compte les enjeux qui en découlent.

Quels sont les acteurs de ce système qui régulent les circulations des flux ? Pour répondre à cette question, nous avons mené une enquête de terrain, comprenant trente-cinq entretiens approfondis avec différents acteurs concernés. Une grille d'entretien a également été élaborée pour mieux appréhender leurs interrelations et les dynamiques qui les animent. Cette approche méthodologique nous a permis d'identifier et d'analyser cinq sous-systèmes d'acteurs clés, qui serviront de socles à la structuration de ce chapitre :

- Les fabricants de plastiques (les extracteurs de pétrole, les raffineurs, les pétrochimistes et les plasturgistes) sont des acteurs clés qui déterminent les types et la composition des plastiques mis sur le marché. Par leurs choix de production, ils influencent la diversité des produits disponibles, ce qui a un impact directement sur la suite de la chaîne.

111 Contact établis à travers les réseaux professionnels du Master MIDECA (Déchets et Économie Circulaire) de l'Université du Mans, de l'UMR ESO-CNRS et de l'UMR IMMM-CNRS.

112 Traduit de l'anglais : « This entails explicitly linking political and economic power to ecological and human impacts. It necessarily requires a discussion of regulatory structures, different actors and possible policy choices. » p. 2.

- Les consommateurs et commerçants de plastiques, qu'il s'agisse d'entreprises mettant les produits sur le marché, d'autres les commercialisant ou des consommateurs finaux, sont des acteurs tout aussi déterminants. En faisant des choix de consommation favorisant certains produits plastiques, ils influencent la production et la demande de plastiques, incitant ainsi les fabricants à ajuster leurs pratiques.
- Les éco-organismes, en charge du financement de la gestion des déchets plastiques, jouent un rôle essentiel dans la promotion du recyclage et la coordination des acteurs tout au long de la chaîne de gestion des déchets. Leur objectif principal est de renforcer les capacités de recyclage et de réduire la quantité de déchets plastiques non valorisés. Cependant, ils sont souvent critiqués pour ne pas imposer suffisamment de contraintes aux fabricants, ou pour ne pas atteindre les taux de recyclage escomptés.
- Les gestionnaires de déchets interviennent en fin de vie des produits plastiques. Ils sont responsables de la collecte, du tri et du traitement des déchets, jouant ainsi un rôle stratégique dans la gestion des déchets plastiques.
- Les pouvoirs publics ont pour mission de définir les réglementations qui encadrent l'ensemble de ces activités. Enfin, d'autres structures publiques, telles que l'Ademe, les CCI, les régions, les observatoires régionaux des déchets ou encore les collectivités territoriales, en promouvant notamment une économie circulaire des plastiques, elles influencent les pratiques des fabricants, des consommateurs et des gestionnaires de déchets.

À la rencontre des acteurs de la filière plastique française

L'étude porte sur l'analyse qualitative des différents positionnements des acteurs clés qui influencent les flux au sein de la filière plastique française. Ces acteurs, impliqués à divers niveaux du cycle de vie des plastiques, jouent un rôle déterminant dans la gestion et la transformation des matières. Il est donc essentiel de les rencontrer afin de mieux comprendre leurs logiques, leurs intérêts et leurs contraintes, et ainsi appréhender l'organisation spécifique de cette filière. Dans ce cadre, nous avons mené trente-cinq entretiens semi-directifs auprès des acteurs de la chaîne de valeur des plastiques. En complément des entretiens, une dizaine d'observations de terrain (voir annexe 2) ont été réalisées lors de journées de conférences destinées aux professionnels, ainsi que lors de visites de centres de tri et de lignes de recyclage. Ces observations ont permis d'identifier des personnes clés, d'obtenir certains entretiens et de recueillir des discours issus des réseaux professionnels.

Les entretiens se répartissent comme tel et sont illustré figure 31 :

- Douze entretiens ont été réalisés auprès des pouvoirs publics et établissements publics nationaux ou territoriaux, incluant quatre régions, une chambre de commerce et d'industrie, deux observatoires des déchets, un syndicat représentant des collectivités françaises, l'Ademe (établissement public à caractère industriel et commercial (EPIC)) sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, du ministère de l'Économie, des Finances et de la souveraineté industrielle et numérique et du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche¹¹³. Parmi ces douze entretiens, deux ont été

113 [https://agirpourlatransition.Ademe.fr/qui-sommes-nous#:~:text=L'ADEME %20est %20un %20 %C3 %89tablissement, Enseignement %20sup %C3 %A9rieur %20et %20de %20la](https://agirpourlatransition.Ademe.fr/qui-sommes-nous#:~:text=L'ADEME%20est%20un%20%C3%89tablissement,Enseignement%20sup%C3%A9rieur%20et%20de%20la,consulté en juillet 2025), consulté en juillet 2025

Chapitre 6 - Une enquête de terrain pour comprendre et analyser le système d'acteurs en place

réalisés avec des interlocuteur-es de l'Ademe, chacun occupant des postes variés et ayant participé à des moments différents de l'enquête ;

- Quatre entretiens ont été réalisés avec des acteurs de la fabrication de plastiques, comprenant un syndicat représentant les producteurs européens de plastiques (Plastics Europe) ainsi que trois transformateurs ou regroupements de transformateurs : IPC (Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites), un centre technique industriel spécialisé dans l'innovation et la recherche pour la plasturgie et les composites ; POLYVIA, l'organisation professionnelle représentant les entreprises du secteur plasturgique en France; et ACTYS Packaging SAS, une entreprise spécialisée dans la transformation des plastiques pour diverses industries. Cependant, les extracteurs de matières premières et les raffineurs n'ont pas pu être interrogés, les tentatives de contact, complexes à atteindre, n'ayant pas abouti. Nous avons pourtant échangé avec un manager en Recherche et Développement chez TotalEnergies, très intéressé par nos analyses quantitatives et souhaitant obtenir nos schémas de bilans matières, mais il n'a finalement pas donné suite à nos demandes d'entretien ;
- Neuf entretiens ont été réalisés auprès des acteurs de la consommation des plastiques, comprenant trois metteurs sur le marché, ainsi que Légipack (association qui représente des entreprises du secteur de l'emballage), Elipso (l'association professionnelle représentant les fabricants d'emballages plastiques), et le Syndicat des Eaux de Source et des Eaux Minérales (qui regroupe les producteurs d'eau en bouteille en France). Trois acteurs de la société civile regroupant une entreprise de consulting, un groupe local associatif et un réseau professionnel des acteurs de la distribution et de la vente en vrac ont également été rencontrés ;
- Quatre entretiens auprès de structures portant les filières à Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) ont été réalisés, dont deux auprès de l'éco-organisme Citeo, un auprès d'ADELPHÉ (filiale de Citeo), ainsi que du Cotrep (Comité Technique pour le Recyclage des Emballages Plastiques). Ainsi, d'autres éco-organismes gérant des produits plastiques n'ont pas pu être interrogés en raison de l'absence de réponse à nos sollicitations ;
- Six entretiens auprès de gestionnaires de déchets plastiques ont été réalisés, dont deux prestataires aidant à la collecte des déchets plastiques ou à leur réemploi, deux trieurs, un syndicat représentant des recycleurs français et un négociant de matières plastiques triées à valoriser et de MPR (Matière Plastique Recyclé).

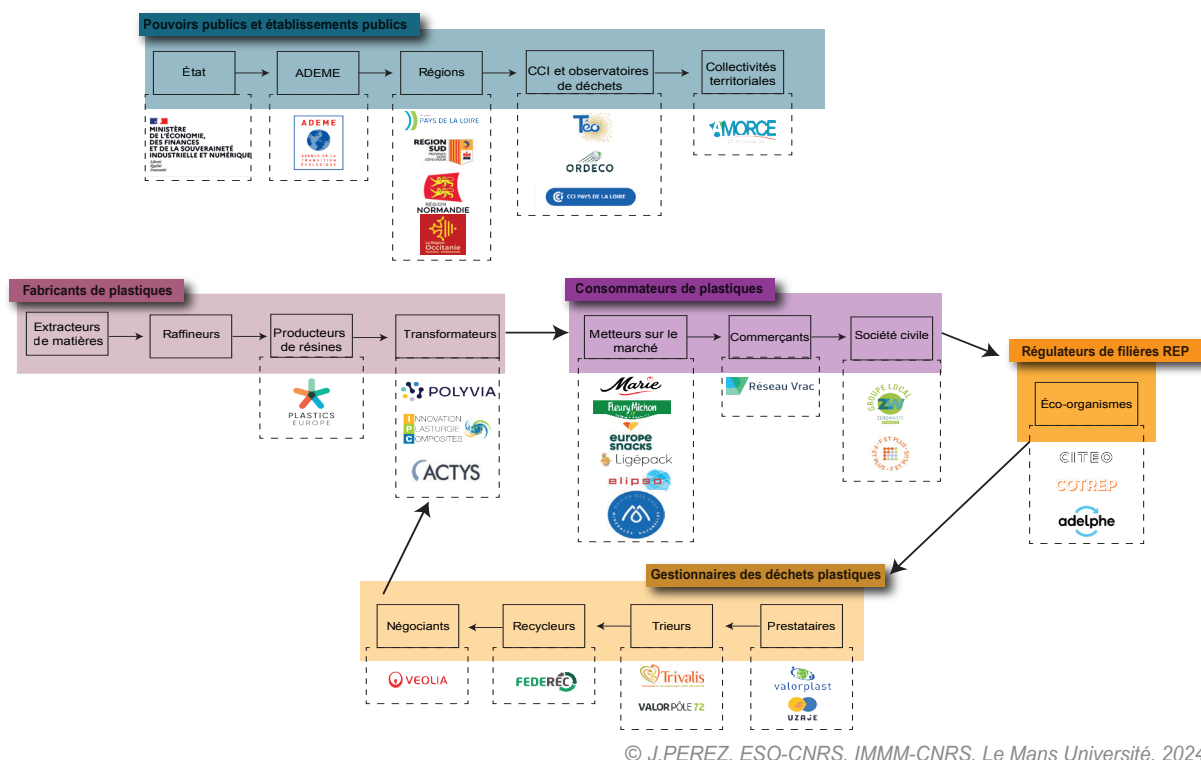


Figure 31 : Les acteurs de la chaîne de valeur des plastiques française rencontrés dans le cadre de la thèse

Un soin particulier a été apporté pour rencontrer au moins un interlocuteur ou une interlocutrice de chaque type et catégorie d'acteur. Si les entretiens peuvent sembler assez peu nombreux, ils ont en réalité ciblé des acteurs très précis, ayant un rôle chaque fois stratégique dans la filière, permettant donc d'appréhender de façon solide la structuration de l'ensemble de la chaîne. Enfin, les entretiens avec des organisations professionnelles telles qu'AMORCE, Plastics Europe, IPC, Légipack, Federrec, etc., ont été privilégiés, afin de mieux comprendre les problématiques des professions qu'elles représentent et leurs relations avec d'autres acteurs.

Une grande typologie d'acteurs a ainsi été rencontrée, à des niveaux différents de responsabilité. Le tableau 8 illustre la diversité des postes et indique que les principaux interlocuteur-es étaient des directeur-es, des ingénieur-es et des chargé-es de mission. Il montre également que le milieu associatif n'a pas été pleinement analysé. En effet, au gré des contacts, il a surtout été possible de mener des entretiens avec des structures, telles que les organisations professionnelles, les pouvoirs publics, les producteurs de résines, les metteurs sur le marché et les gestionnaires de déchets. Grâce aux transferts de contacts facilités par les directeur-es, le terrain s'est ouvert, permettant d'obtenir ensuite d'autres entretiens. Certains-es des acteurs rencontrés ayant une longue carrière derrière eux, allant jusqu'à 30 ans, cela a permis de retracer l'évolution de la filière sur le temps long. La conséquence de ces entretiens, surtout centrés sur les acteurs industriels, est que les interlocuteurs rencontrés se positionnent pour l'essentiel en faveur de la perpétuation des pratiques actuelles, tout en admettant la nécessité de les faire évoluer. Les acteurs rencontrés sont donc influents dans la filière de longue date plus qu'émergents (comme des start-ups ou des associations qui défendent la réduction de la production et de l'usage des

plastiques et encouragent des alternatives au système en place). Ce biais est un point important à prendre en compte dans l'analyse des jeux d'acteurs réalisée.

Poste	Sexe	Total par catégorie
Directeur·e	9 hommes	10 personnes
	1 femme	
Ingénieur·e	6 hommes	11 personnes
	5 femmes	
Chargé·e de mission	5 femmes	9 personnes
	4 hommes	
Président·e association	1 homme	2 personnes
	1 femme	
Chercheur·e	1 femme	2 personnes
	1 homme	

Tableau 8 : Typologie des acteurs rencontrés

Une grille d'entretien pour analyser les jeux d'acteurs de la filière plastique

Le travail d'enquête réalisé sur les jeux d'acteurs se fonde sur des entretiens semi-directifs auprès d'acteurs de la filière plastique. Pour ce faire, une grille d'entretien a été créée (*cf.* annexe 1) ; elle est composée des thématiques suivantes :

- Présentation de l'interlocuteur ; identification de son poste actuel, de son parcours professionnel l'ayant conduit à travailler autour de la matière plastique, ainsi qu'une présentation détaillée et personnalisée de sa structure.
- Généralités sur la gestion des déchets plastiques français ; recueillir à la fois une vision globale de la gestion des déchets plastiques en France et une perspective plus spécifique sur le recyclage des matières plastiques, afin de mieux comprendre le regard de l'interlocuteur·trice et sa position quant à la fin de vie de ces matériaux.
- Réglementations sur les matières plastiques ; recueillir l'avis de l'interlocuteur·trice sur l'existence (ou non) d'une véritable économie circulaire des plastiques, et évaluer dans quelle mesure la réglementation actuelle favorise une plus grande circularité des matières plastiques. Il s'agit également d'identifier les impacts des nouvelles réglementations sur son secteur d'activité et de comprendre si ce dernier ressent une pression réglementaire particulière pour aller dans ce sens.
- Économie circulaire des plastiques ; comprendre la perception de l'économie circulaire appliquée aux différents types de plastiques et aux échelles territoriales pertinentes.
- Dynamiques entre acteurs de la filière plastique française ; ce thème permet d'examiner la manière dont l'économie circulaire contribue à redéfinir les dynamiques et les coopérations entre les acteurs de la filière, ainsi que les écarts de maturité existants entre recycleurs, trieurs, industriels ou encore institutionnels dans le développement d'actions concrètes.
- Données quantitatives des flux plastiques ; recueillir un retour critique sur les représentations graphiques issues de *Plastics Europe (2022)* (*cf.* figure 19d) et de l'Ademe

Chapitre 6 - Une enquête de terrain pour comprendre et analyser le système d'acteurs en place

(2018) (*cf.* figure 18a). Les questions portent sur la perception des circulations et des tonnages annoncés et permettent de confronter ces données quantitatives à l'expertise de l'interlocuteur·trice.

Bien que les thématiques demeuraient les mêmes d'un entretien à l'autre, certaines questions pouvaient être ajustées en fonction du rôle de l'interlocuteur·trice et de la position de sa structure au sein de la filière plastique. L'objectif était de recueillir leurs discours sur ces thématiques tout en laissant au fil de l'entretien l'opportunité à l'interlocuteur·trice de développer librement ses propos, d'exprimer ses positions et actions professionnelles, et d'aborder des aspects inattendus ou connexes qui pourraient enrichir la discussion.

Les entretiens se sont déroulés dans un climat de transparence, marqué par une grande fluidité des échanges. Les interlocuteur·trices se sont montrés honnêtes et conscients des limites actuelles de la filière plastique, notamment en termes de pollution et de recyclage. Contrairement à ce que l'on pourrait attendre dans un contexte industriel, les enquêté·es n'ont pas cherché à minimiser les enjeux écologiques, admettant les défis à surmonter pour rendre la filière plus durable. Ils ont également abordé avec aisance les relations avec d'autres acteurs de la chaîne de valeur, se positionnant parfois en opposition ou en coopération, selon les enjeux.

Un point saillant de cette enquête est que la majorité des entretiens ont été réalisés auprès d'acteurs que l'on peut qualifier de « pro-plastique ». Tous reconnaissent les problématiques de pollution engendrées par les plastiques, mais défendent néanmoins fermement leur utilité dans de nombreux secteurs économiques. Leurs discours insistent sur l'importance des plastiques dans la vie quotidienne et dans des domaines stratégiques, comme la santé, l'emballage, etc., notamment car une telle remise en cause constituerait, dans nombreux cas, une remise en cause de l'existence même de leur métier et l'existence de leur compétence professionnelle personnelle. En parallèle, ils reconnaissent tous la nécessité d'améliorer les filières de recyclage des déchets plastiques et de poursuivre les efforts en matière d'économie circulaire. D'ailleurs, au fur et à mesure de l'enquête, les entretiens révèlent des discours récurrents, ce qui reflète des visions assez semblables au sein de la filière et de ses enjeux, malgré les différences de positionnement des acteurs entre eux et la tentation de faire peser la responsabilité sur le voisin.

La richesse des discours recueillis a permis de collecter des informations précieuses sur les positions, les enjeux et les relations au sein de la chaîne de valeur, fournissant ainsi une base solide pour une analyse approfondie des interactions entre acteurs.

Encadré 9 : Posture et déroulement des entretiens

La phase d'entretien s'est faite sur un temps long et segmentée. Elle a débuté en fin de première année de thèse grâce à quelques contacts transmis par la direction de thèse et ses ramifications jusqu'en troisième année. Nous avons toutefois dû faire face à de nombreux refus ou absence de réponse, même après plusieurs relances. Trente-cinq entretiens ont tout de même été menés en visioconférence ou en présentiel. Ces entretiens semi-directifs duraient selon la disponibilité de l'enquêté de 30 min à plus de 2 h.

Au fur et à mesure s'est opéré une prise de conscience que le statut de doctorante jouait en notre faveur tant dans la prise de contact par mail que des réponses obtenues lors des entretiens. Le fait d'être étudiante rassurait les interlocuteur·trices qui perçoivent alors une novice loin de leurs réalités professionnelles plus qu'une chercheuse en mesure de remettre en cause leur discours. Des phrases comme « vous qui êtes étudiante, je peux vous le dire », « je suis ravi d'aider une étudiante », « comme vous ne connaissez pas encore grand-chose aux plastiques, je vais vous expliquer », etc., accompagnaient quasi systématiquement les entretiens réalisés. Cette image d'étudiante en apprentissage a finalement beaucoup servi, permettant d'avoir des interlocuteur·trices ouverts à la discussion, répétant et précisant les informations et laissant même échapper quelques confidences...

Chapitre 7 : Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

Après avoir exposé la démarche méthodologique retenue, centrée sur une approche qualitative par entretiens, nous poursuivons ici notre démonstration en entrant dans le cœur de l'analyse des jeux d'acteurs. La partie précédente, consacrée à la présentation des choix méthodologiques, avait pour objectif de clarifier la manière dont les données ont été recueillies et traitées. Le présent chapitre inaugure une nouvelle étape : la description et l'analyse des différents groupes d'acteurs impliqués dans les circulations des matières plastiques.

L'enjeu est double. D'une part, il s'agit de dresser un panorama structuré des acteurs intervenant à chaque étape du cycle de vie des plastiques. D'autre part, il convient d'analyser leur rôle, leur positionnement et leurs interactions vis-à-vis des dynamiques de circularité. Cette analyse permettra de comprendre non seulement la diversité des intérêts en jeu, mais aussi les tensions et leviers potentiels qui traversent ce champ.

Le chapitre se déploiera en trois grandes sections. Dans un premier temps, nous décrirons les acteurs de la fabrication des plastiques, en distinguant les extracteurs, raffineurs et pétrochimistes d'un côté, puis les plasturgistes de l'autre. Dans un second temps, nous nous attacherons aux acteurs de la consommation des plastiques, comprenant les metteurs sur le marché, les commerçants ainsi que la société civile. Enfin, nous aborderons le troisième groupe, celui des acteurs de la gestion des déchets plastiques, parmi lesquels les pouvoirs publics et les structures publiques (Ademe, CCI, observatoires régionaux de déchets), les éco-organismes, ainsi que les acteurs techniques de la filière en fin d'usage, notamment les collecteurs, trieurs et régénérateurs.

Ce chapitre constitue une analyse importante de la chaîne de valeur des plastiques : en articulant description et analyse des groupes d'acteurs, il pose les analyses nécessaires pour comprendre les logiques d'action et les jeux d'acteurs qui sous-tendent la mise en œuvre ou au contraire les obstacles à la circularité des matières plastiques.

Les acteurs de la fabrication des plastiques

La filière plastique repose sur une longue chaîne d'acteurs, dont les premiers maillons sont essentiels à la fabrication des matières (*cf.* figure 32). Cette première partie est constituée de quatre types d'acteurs : les extracteurs de pétrole, les raffineurs, les pétrochimistes et les plasturgistes. Les premiers fournissent les hydrocarbures nécessaires, tandis que les raffineurs les transforment en matières premières exploitables. La grande majorité des monomères, tels que l'éthylène et le propylène, essentiels à la fabrication des plastiques, sont issus d'hydrocarbures fossiles. Ils représentent environ 300 millions de tonnes de plastiques produits dans le monde, contre seulement 2,1 millions de tonnes pour les plastiques biosourcés¹¹⁴. Ainsi, plus de 90 % des plastiques reposent sur des matières premières fossiles vierges. Selon l'Agence internationale de l'énergie (IEA, 2022), près de 70 % du pétrole destiné à la pétrochimie est actuellement mobilisé pour la production de plastiques. Les polymères sont ensuite synthétisés par des entreprises pétrochimiques. Ces polymères sont fournis aux plasturgistes, qui les utilisent pour produire divers objets par des procédés, tels que l'injection, le soufflage ou le thermoformage. Une

114 <https://www.citeo.com/le-mag/emballages-en-plastiques-biosources-et-compostables-est-ce-la-solution> consulté en août 2025

dans le pétrole comme dans les plastiques, avec 13 % de la production globale de polymères. L'Arabie saoudite, qui fonde sa puissance économique sur l'exportation d'hydrocarbures¹¹⁸, s'est également imposée comme l'un des grands acteurs mondiaux de la pétrochimie. Ainsi, le contrôle simultané du pétrole et des plastiques par un petit groupe de pays confère à ces derniers une double influence stratégique : énergétique et industrielle. Ce sont précisément ces puissances pétrolières et plastiques qui ont activement bloqué les tentatives de réduire la production plastique¹¹⁹ dans le cadre du traité mondial contre la pollution plastique¹²⁰. Car ces pays ont pleinement conscience du rôle stratégique que représente désormais la pétrochimie, « déjà composante majeure du système énergétique mondial, l'importance des produits pétrochimiques ne cesse de croître. La demande en plastique a dépassé celle de tous les autres matériaux en vrac (tels que l'acier, l'aluminium ou le ciment), doublant presque depuis le début du millénaire. Les États-Unis, l'Europe et d'autres économies avancées utilisent actuellement jusqu'à 20 fois plus de plastique que l'Inde, l'Indonésie et d'autres économies en développement par habitant, ce qui souligne l'énorme potentiel de croissance à l'échelle mondiale » (IEA, 2018). Pour les producteurs de pétrole, cette perspective est cruciale : alors que la transition énergétique risque à terme de réduire la demande de carburants fossiles, les plastiques apparaissent comme une planche de salut économique, « la combinaison d'une économie mondiale en pleine croissance, d'une population croissante et du développement technologique se traduira par une demande croissante de produits pétrochimiques » (IEA, 2018).

Les extracteurs de pétrole, tels que les grandes compagnies comme TotalEnergies ou ExxonMobil, sont les premiers maillons de cette chaîne. Leur rôle consiste à extraire le pétrole brut du sous-sol pour alimenter les raffineries. Cette matière première est le point de départ de la production de plastiques, car elle contient des hydrocarbures complexes qui, une fois raffinés, peuvent être transformés en plusieurs sous-produits, dont le naphtha.

Le naphtha, une fraction légère obtenue par distillation du pétrole brut, était initialement perçu comme un sous-produit mineur, voire comme un déchet. Cependant, il a rapidement trouvé une place cruciale dans l'industrie pétrochimique. Comme le souligne Moisan (2021), « pour les producteurs de pétrole, pas question de laisser filer ce qu'ils considéraient jusqu'alors comme un simple déchet ». Cet exemple illustre bien comment l'industrie pétrolière a su capitaliser sur des sous-produits pour les transformer en ressources utiles à la fabrication d'autres matériaux et ainsi développer largement la production de plastiques. Une fois extrait, le pétrole brut est envoyé aux raffineries, qui jouent un rôle essentiel dans la séparation du pétrole en plusieurs fractions, dont l'une des plus importantes pour la pétrochimie est le naphtha. Ces raffineries constituent la charnière entre les extracteurs de pétrole et les industries chimiques qui exploitent ce sous-produit. Cette capacité à maximiser l'utilisation des sous-produits

118 L'Arabie saoudite est le premier exportateur mondial de pétrole : <https://www.tresor.economie.gouv.fr/Articles/ea3a2f13-c521-41ce-8b25-2ddbc86cb595/files/f89824c2-8592-4420-b2bd-5fe8edf172e7> consulté en septembre 2025

119 https://www.lemonde.fr/planete/article/2025/08/15/pollution-plastique-l-obstruction-des-pays-petroliers-entraine-un-echec-cuisant-des-negociations-sur-un-traite-international_6629921_3244.html#:~:text=Pollutions-,Pollution%20plastique%20%3A%20l%27obstruction%20des%20pays%20p%C3%A9troliers%20entra%C3%A9ne%20un%20%C3%A9chec,terme%20%C3%A0%20cette%20pollution%20omnivr%C3%A9sente. Consulté en août 2025

120 Le traité mondial contre la pollution plastique est un accord international, lancé par une résolution de l'Assemblée des Nations unies pour l'environnement (UNEA-5) en mars 2022. Il vise à élaborer un instrument juridiquement contraignant qui couvre l'ensemble du cycle de vie des plastiques, de leur conception à leur production, usage, jusqu'à leur élimination. Mais, en date de septembre 2025, les négociations n'ont pas abouti à un accord, en raison d'intérêts divergents entre États. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/traite-mondial-contre-pollution-plastique> consulté en septembre 2025

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

rappelle la légendaire anecdote concernant John D. Rockefeller, magnat de l'industrie pétrolière. Lors d'une visite dans une de ses raffineries, Rockefeller aurait remarqué que du gaz éthylène, un sous-produit du processus de raffinage, était brûlé sans utilité. Selon la légende, il aurait alors déclaré : « Je ne crois pas au gaspillage ! Trouvez quelque chose à faire avec ça » (Freinkel, 2011). Cette remarque de Rockefeller est à l'origine de la valorisation du gaz éthylène et d'autres sous-produits, menant à l'essor de l'industrie pétrochimique moderne.

Entre les deux guerres mondiales, des entreprises majeures du secteur pétrochimique, telles que Dow Chemical, DuPont, BASF et IG Farben ont rapidement compris l'intérêt de transformer les sous-produits du pétrole en polymères. En collaborant avec les grandes compagnies pétrolières, ces acteurs ont jeté les bases de l'industrie moderne des plastiques, en développant des matériaux aujourd'hui incontournables, tels que le nylon, le polystyrène, le polyéthylène, et le PVC (Moisan, 2021). Ces collaborations stratégiques ont permis d'optimiser la valorisation des sous-produits du pétrole et de développer des matériaux qui ont révolutionné des secteurs et créé de nouveaux produits, comme dans l'emballage, la construction, l'automobile et la médecine. En exploitant des produits initialement considérés comme sans valeur, les pétrochimistes ont créé une économie autour de la transformation chimique des hydrocarbures en matériaux synthétiques. Cela a entraîné « l'invasion des matériaux synthétiques sur des marchés auparavant dominés par des produits traditionnels » (Mercier, 1966). Par exemple, les fibres synthétiques ont supplanté le coton et la laine dans l'industrie textile, le caoutchouc synthétique a pris la place du caoutchouc naturel, et le polyéthylène a remplacé le verre dans l'emballage.

Les raffineries fournissent ainsi du naphta qui, une fois raffiné, est envoyé aux pétrochimistes pour subir un processus complexe de transformation. Le naphta est traité dans des unités de vapocraquage : un procédé qui consiste à chauffer le naphta (ou l'éthane, un composant du gaz naturel) à des températures dépassant les 800°C, en présence de vapeur d'eau. Ce procédé¹²¹ casse les grosses molécules d'hydrocarbures en molécules plus petites, principalement l'éthylène et le propylène, deux composés clés pour la fabrication de plastiques.

Une fois ces monomères produits, l'étape suivante est la polymérisation, un processus central dans la pétrochimie, gérée par les acteurs de cette industrie. La polymérisation consiste à relier les monomères entre eux pour former des polymères, de longues chaînes moléculaires qui constituent la base des plastiques. Selon les additifs utilisés et la manière dont les monomères sont assemblés, il est possible de produire une grande variété de plastiques. Parmi les plus connus, on retrouve le polyéthylène, le polypropylène ou encore le chlorure de polyvinyle, qui sont tous des matériaux omniprésents dans divers secteurs industriels.

Les industries du raffinage et de la pétrochimie ont ainsi bénéficié d'un contexte exceptionnel grâce à l'abondance des ressources en pétrole brut et en gaz naturel. Cette disponibilité, couplée à des prix compétitifs et stables, a non seulement assuré une régularité dans l'approvisionnement, mais a aussi stimulé la demande croissante de produits dérivés (Mercier, 1966). L'histoire moderne du pétrole brut commence au milieu du XIX^e siècle. Avant cette période, l'extraction du pétrole se limitait à des quantités modérées, effectuée principalement dans des bassins de surface ou en utilisant des éponges pour récolter le précieux liquide des nappes maritimes. C'est en 1858, à Titusville en Pennsylvanie, que le prospecteur américain Edwin Drake a révolutionné l'industrie en enfonçant un tuyau dans le

121 <https://www.techniques-ingenieur.fr/glossaire/vapocraquage> consulté en septembre 2025

sol pour rechercher du pétrole à des profondeurs inexplorées. À seulement 20 mètres, il a découvert du pétrole, marquant le début d'une exploitation plus intensive qui allait donner naissance à une ère d'industrialisation sans précédent (Bardi, 2015). La découverte du pétrole a ouvert un vaste champ d'application, dont beaucoup n'étaient pas envisagées auparavant. Comme souvent lorsqu'une denrée devient disponible à bas coût, on lui a trouvé sans peine de nouvelles utilisations (Bardi, 2015). Par exemple, la pétrochimie a donné naissance à une gamme de produits dérivés, notamment les plastiques, qui sont devenus peu à peu omniprésents dans la société. Cette versatilité des produits pétroliers a permis leur intégration dans des biens de consommation allant des vêtements aux emballages, en passant par les pièces automobiles et les équipements électroniques : « au cours des années 1960, le pétrole est devenu la principale source d'énergie dans le monde, reléguant le charbon au second plan. Commence alors une période de grande prospérité où l'humanité s'est hissée à un niveau de richesse qui n'a probablement aucun équivalent dans l'histoire. Dans le monde occidental, on trouvait désormais une voiture dans chaque garage, un réfrigérateur dans chaque cuisine et une télévision dans chaque salle de séjour » (Bardi, 2015). Tous ces objets fabriqués en partie avec des plastiques dérivés du pétrole. Cependant, cette exploitation pétrolière s'accompagne de l'inévitable problème de l'épuisement des ressources. En effet, le pétrole et le gaz, en tant que matières premières et sources d'énergie essentielles à la pétrochimie, font de cette industrie l'une des plus énergivores au monde ¹²². La dépendance croissante à l'égard de ces ressources finies soulève des questions préoccupantes sur l'avenir de la production pétrolière et de ses dérivés. Dans ce contexte, l'augmentation des coûts des matières premières pétrolières, exacerbée par la diminution des ressources minérales et les enjeux géopolitiques, a un impact direct sur les industries utilisant ces matériaux ¹²³. De plus, les préoccupations environnementales liées à l'extraction et à l'utilisation des combustibles fossiles, notamment la pollution engendrée par leur production et leur combustion, soulèvent des enjeux cruciaux. L'accumulation de déchets plastiques dans les écosystèmes, ainsi que les émissions de gaz à effet de serre, sont des conséquences alarmantes de notre dépendance au pétrole.

Si, en règle générale, la position de ces acteurs - extracteurs, raffineurs et pétrochimistes - suit une chaîne logique où les premiers fournissent les ressources de base, les seconds les transforment, et les derniers les convertissent en matériaux finis, assez rapidement, il est remarqué, des exceptions à cette règle (Mercier, 1966) comme des compagnies pétrolières qui étendent leurs activités au-delà des matières de base et investissent aussi la fabrication de produits intermédiaires et finaux. Ainsi, des partenariats se forment notamment entre les compagnies pétrolières et les entreprises chimiques, un phénomène qui s'accroît lorsque des sociétés chimiques vont jusqu'à acquérir des sites de production de plasturgie. Par exemple, le groupe TotalEnergies illustre parfaitement l'évolution stratégique de certaines compagnies pétrolières qui ne se contentent plus d'extraire les matières premières, mais élargissent leurs compétences jusqu'à la production de produits intermédiaires et finis, diversifiant ainsi leurs activités. En effet, TotalEnergies, quatrième compagnie pétrolière et gazière internationale, occupe simultanément les rôles de producteur de pétrole, raffineur, distributeur et pétrochimiste. Les activités de TotalEnergies sont aujourd'hui organisées autour de trois grands secteurs ¹²⁴, chacun représentant une facette complémentaire de son

122 <https://www.zerowastefrance.org/face-cachee-industrie-plastique/> consulté en août 2025

123 <https://www.polyvia.fr/fr/economie/la-petrochimie-dans-le-rouge-quelles-consequences-pour-les-prix-du-plastique> consulté en août 2025

124 <https://www.bouches-du-rhone.gouv.fr/content/download/22143/135158/file/r%C3%88sum%C3%88%20non%20technique.pdf> consulté en octobre 2024

modèle économique. Le premier, la branche Exploration-Production, couvre l'exploration et l'extraction de ressources pétrolières et gazières dans plus de 50 pays. Vient ensuite la branche Raffinage-Chimie, qui englobe les activités de transformation des hydrocarbures en produits pétrochimiques et en produits chimiques spécialisés. Enfin, la branche Marketing & Services assure la conception et la commercialisation de produits, tels que les carburants, les lubrifiants, et autres dérivés, tout en proposant des services variés dans les domaines de la mobilité, de l'habitat et de l'industrie.

La pétrochimie française : en quête de légitimité

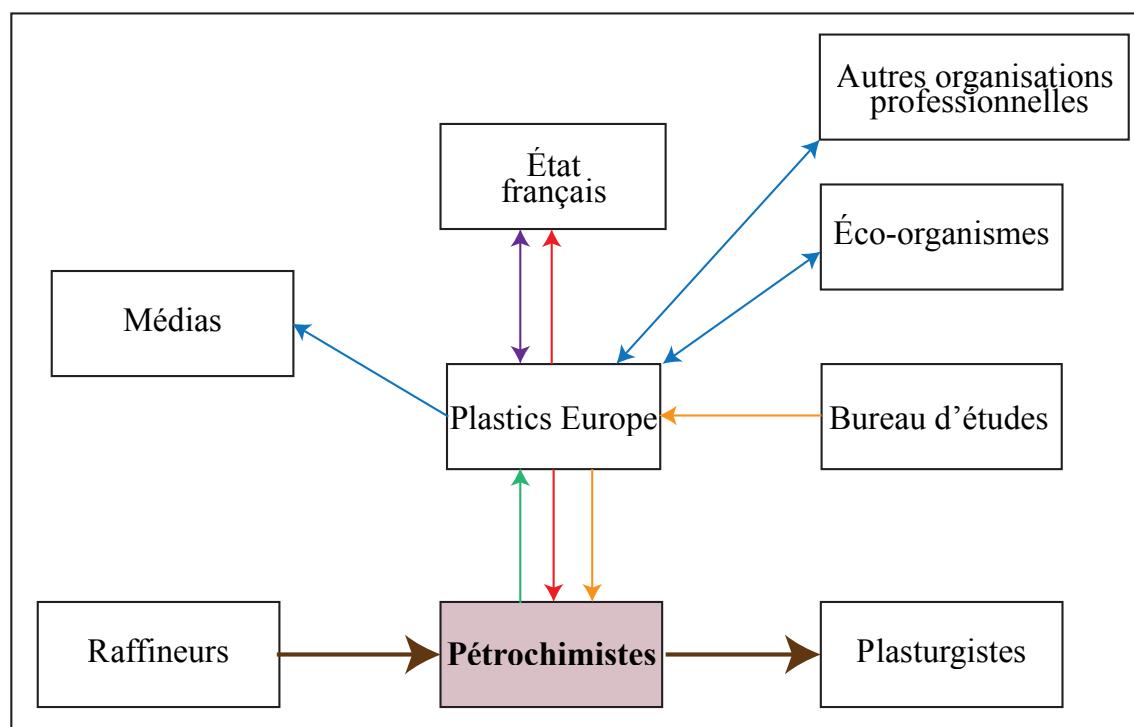
En France, la production de pétrole brut est aujourd'hui extrêmement limitée, avec seulement 0,7 Mtep (millions de tonnes équivalents pétrole) en 2020, représentant environ 1 % de la consommation nationale de pétrole. Cette production a été divisée par plus de trois depuis la fin des années 1980, illustrant la décroissance de l'exploitation pétrolière dans le pays. La consommation totale de pétrole en France avoisine les 77 millions de tep, rendant le pays fortement dépendant aux importations pour couvrir ses besoins énergétiques. En effet, la France importe près de 99 % du pétrole et du gaz qu'elle consomme, soulignant sa dépendance vis-à-vis de l'extérieur pour ces ressources énergétiques stratégiques. Les acteurs de la filière pétrolière en France sont principalement des petites et moyennes entreprises, qu'elles soient françaises ou étrangères, comme Vermilion, Lundin, Geopétrol, Petrorep et SPPE. Ces sociétés se concentrent sur les activités d'exploration et de production et collaborent avec de nombreux sous-traitants spécialisés dans des domaines variés, tels que les géosciences, le forage, la géophysique ou encore la gestion des déchets et de la sécurité. À côté de ces petites et moyennes entreprises, TotalEnergies se distingue en tant que géant mondial de l'énergie, étant l'un des rares grands groupes à maintenir une forte présence dans le secteur pétrolier en France.

Bien que la production de pétrole brut en France soit extrêmement limitée et que le pays dépende largement des importations, la pétrochimie, qui utilise une fraction des produits pétroliers comme matière première, reste un secteur clé de l'économie nationale.

En 2022, la pétrochimie en France a consommé environ 10 % des produits pétroliers utilisés sur le territoire en tant que matière première. Toutefois, cette consommation a connu une baisse significative de 31 % par rapport à l'année précédente, en grande partie à cause de l'arrêt de certaines installations, notamment en raison d'incendies¹²⁵. Ce recul a conduit à un niveau historiquement bas pour les matières premières utilisées dans le secteur pétrochimique. L'industrie chimique française, bien que marquée par cette baisse conjoncturelle dans la pétrochimie, demeure un pilier essentiel de l'économie du pays. Elle est le premier secteur exportateur de l'industrie, avec un chiffre d'affaires de 53,8 milliards d'euros en 2013, et emploie plus de 158 000 personnes (PIPAME & Advancy, 2014). En termes de performance, elle surpasse même l'industrie manufacturière avec une croissance notable cette même année. À l'échelle internationale, la France se classe comme le 7^e producteur mondial dans ce domaine, et le 2^e au niveau européen, avec des secteurs d'excellence tels que la chimie des polyamides, ou encore la production de polymères fluorés et de silicones. Malgré cette position de force, l'industrie chimique française doit faire face à certains défis structurels. Les plateformes chimiques du pays sont souvent de plus petite taille et moins organisées que leurs équivalents dans d'autres pays européens, ce qui peut représenter un frein à leur compétitivité. Cela dit, ces plateformes continuent de jouer un rôle central dans la production de substances de haute technologie, qui sont

¹²⁵ <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/media/6557/download?inline> consulté en octobre 2024

essentielles à de nombreux secteurs industriels, et de contribuer à la position de la France comme un acteur incontournable sur la scène internationale de la chimie. D'autant plus que ces acteurs se mettent à s'intéresser au recyclage chimique des plastiques, une autre manière de rentabiliser leurs activités ; « il y a des entreprises qui se sont mises à changer leur fusil d'épaule, a commencé par des gens comme Total, Exone mobile, PP, qui étaient au premier lieu sur l'exploitation du pétrole et qui se sont dit on va peut-être travailler sur le pétrole pour le vendre deux fois. On va extraire du pétrole, faire du plastique, on va le vendre aux industriels et puis, en fin de vie, on va récupérer du plastique pour faire du recyclage chimique ou enzymatique pour récupérer nos monomères et les vendre une deuxième fois » (entretien avec un acteur du secteur de l'emballage, 2022). Ces stratégies s'inscrivent donc dans une volonté de maintenir la rentabilité, les grandes entreprises pétrolières cherchant à prolonger le cycle de vie économique du pétrole sans pour autant diminuer la production de plastiques vierges (Berlingen, 2025), tout en répondant aux critiques croissantes associées au pétrole. Dans ce contexte, le développement du recyclage devient un outil de communication et de légitimation, permettant aux entreprises de soigner leur réputation : « en faisant ça, ils redorent leur image » (entretien avec un acteur du secteur de l'emballage, 2022). Ce choix de communication s'inscrit dans un paysage industriel structuré, où des organisations telles que Plastics Europe jouent un rôle central. Plastics Europe est l'association principale des producteurs de résines plastiques en Europe. Ses membres se spécialisent dans la fabrication de granulés plastiques, qui sont ensuite vendus aux transformateurs (ou plasturgistes) pour être façonnés en produits finis. La spécificité de Plastics Europe est d'être une organisation professionnelle directement structurée à l'échelle européenne, contrairement à d'autres associations professionnelles généralement organisées par pays, puis regroupées au niveau européen. Plastics Europe est un acteur clé dans la communication et la défense des intérêts des producteurs, notamment dans ses relations avec les gouvernements et les autres parties prenantes de la filière plastique (*cf.* figure 33).



Légende :

<i>Relations fonctionnelles</i>	<i>Jeux d'acteurs</i>	<i>Flux de matières plastiques</i>
—> Études techniques	—> Défense des intérêts	—> Plastiques
—> Mandate	—> Tensions	
	—> Communication	

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 33 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des producteurs européens de résines plastiques

Les relations de Plastics Europe avec les gouvernements et les médias sont essentielles pour défendre les intérêts de l'industrie, notamment en matière de régulations et de législation. Comme l'explique notre interlocuteur, le Directeur général de Plastics Europe pour la France, au niveau de l'entité française de Plastics Europe, « on traite surtout de deux types de sujets : des sujets de ce qu'on appelle nous affaires publiques, donc les relations avec les autorités locales, échanges avec le gouvernement, les ministères, les parlementaires, évidemment, surtout sur des sujets de projets de lois, de décrets ou de réglementations qui concernent nos activités. » En suivant de près les projets de lois, décrets ou autres réglementations, l'organisation se positionne pour intervenir de manière proactive, en informant ou en influençant les décideurs publics. Elle combine ainsi une fonction de représentation du secteur et de défense des intérêts économiques de ses membres, tout en s'inscrivant dans un dialogue permanent avec les autorités locales et nationales. « Et puis un deuxième sujet, qui est un sujet de communication où on travaille surtout avec la presse spécialisée, donc un certain nombre des organismes qui travaillent dans le monde des emballages, dans le monde des déchets, dans le monde des plastiques pour aller échanger avec eux et leur communiquer un

certain nombre d'informations régulières, notamment pour relier des publications que l'on fait au niveau européen. On essaye d'avoir toujours un discours qui soit le plus scientifique possible, le plus basé sur la science et les faits, même si, bien évidemment, il y a beaucoup de progrès à faire dans ce domaine et éviter des décisions qui soient prises uniquement sur des considérations idéologiques. » (entretien avec la Fédération des producteurs européens de plastiques, 2023). Plastics Europe ne se limite donc pas à l'influence politique directe : elle cherche aussi à construire une image de légitimité « scientifique » et rationnelle auprès des acteurs spécialisés dans les plastiques. Pour assurer un suivi précis des progrès et des tendances de l'industrie, Plastics Europe s'appuie sur des études techniques réalisées entre autres par le consultant Conversio.

Plastics Europe interagit aussi avec les éco-organismes comme Citeo et d'autres associations professionnelles (ex. Polyvia, Elipso), des échanges réguliers ont lieu « on voit souvent Citeo, pratiquement tous les mois sur différents sujets » (entretien avec la Fédération des producteurs européens de plastiques, 2023), pour coordonner des actions communes, surtout en matière de recyclage et d'économie circulaire ; « Aujourd'hui, on est beaucoup plus sur des sujets communs, sur comment faire ensemble pour transformer notre industrie... vers la circularité et la neutralité carbone. » (Fédération des producteurs européens de plastiques, entretien, 2023).

Communication circulaire ou véritable transformation industrielle ?

Selon Alice Mah (Mah, 2022), la promesse circulaire portée par les acteurs de la production de plastiques relève moins d'une volonté de transformation que d'une stratégie de maintien. Depuis les années 1950, « les entreprises pétrochimiques et plastiques se battent pour étendre et protéger les marchés des plastiques en stimulant la demande, en niant les risques et en récupérant les solutions »¹²⁶ (Mah, 2022). Le recyclage et l'économie circulaire apparaissent ainsi comme des tactiques de détournement : « récemment, les entreprises ont affiné leurs stratégies de durabilité, par exemple en adoptant le concept d'économie circulaire, donnant l'impression d'embrasser des initiatives écologiques tout en poursuivant une croissance non durable »¹²⁷ (Mah, 2022). Lors de notre entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, cette tension était manifeste, et il insistait sur le fait que l'économie circulaire constitue une mutation réelle et structurelle de l'industrie européenne de production de plastique : « il y a très clairement une prise de conscience de la nécessité d'aller vers une économie circulaire » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022), expliquait-il, en soulignant que cette dynamique est « partie d'abord depuis une dizaine d'années de problèmes de pollution plastique dans l'environnement » et s'est renforcée avec « des réglementations qui ont été de plus en plus exigeantes, mais aussi par des engagements volontaires d'un certain nombre d'acteurs et notamment les grandes marques » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). Dans son récit, la circularité n'est pas une façade, mais un processus déjà engagé, nourri à la fois par des contraintes réglementaires et par les engagements des grandes marques : « Coca-Cola, Nestlé, Danone, etc., ont pris des engagements et évidemment ces engagements se traduisent par une demande, derrière pour les producteurs d'emballages et pour les producteurs de résines d'aller vers des produits plus recyclés » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). Ainsi, pour

126 Traduit de l'anglais : « (...) petrochemical and plastics corporations have fought to expand and protect plastics markets through manufacturing demand, denying risk, and co-opting solutions. »

127 Traduit de l'anglais : « Recently, corporations have become more sophisticated in their sustainability strategies, for example through adopting the circular economy agenda, appearing to embrace green initiatives while pursuing unsustainable growth. »

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

les fabricants de plastiques, la circularité se présente comme une réponse à une pression externe, soit réglementaire et sociétale, qui transforme progressivement l'offre industrielle. L'argumentation de Plastics Europe se veut aussi performative : elle met en avant des investissements massifs, censés attester du caractère tangible et irréversible de la mutation en cours. Ainsi, « nos membres ont prévu d'investir 7 milliards d'euros d'ici 2030 sur une cinquantaine de projets industriels pour arriver à produire plus de 3 millions de tonnes de plastiques recyclés à partir de technologies chimiques » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). Ces projets sont décrits comme la preuve que la circularité n'est pas une simple communication, mais une trajectoire industrielle à long terme. Cependant, cette vision se focalise exclusivement sur l'instauration de nouvelles technologies de recyclage chimique, sans aborder la prévention de la production de résines ou le développement du réemploi des plastiques, stratégies pourtant fondamentales pour une véritable circularité. De plus, plusieurs projets de recyclage chimique en France ont récemment rencontré de sérieuses difficultés, voire ont été suspendus ou abandonnés ¹²⁸.

Notre interlocuteur rejette explicitement les accusations de tactiques de communication : « des gens qui considèrent que c'est du greenwashing, que ce n'est pas des engagements réels alors qu'il ne s'agit pas de faire de la communication, il s'agit de faire de vrais projets industriels quand on commence à parler de milliards d'euros, ce n'est pas de la com', mais une réalité des filières » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). Il revendique donc la matérialité des efforts des acteurs de la chaîne de valeur des plastiques, face aux « ONG, activistes ou extrémistes » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022) qui assimilent le recyclage à une stratégie de maintien : « des gens qui considèrent que le recyclage n'est pas une bonne solution et que le recyclage n'est qu'un moyen de poursuivre une activité qu'ils jugent dangereuse, polluante, néfaste, etc. Sauf qu'ils oublient de préciser qu'on ne serait pas vivre aujourd'hui sans les plastiques » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). Pour les acteurs (producteurs de matières plastiques) que notre interlocuteur représente, le cœur du problème ne réside pas dans la production, mais : dans les « pays où les déchets sont mal gérés » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022), et dans l'absence d'infrastructures adaptées. Selon sa vision et la profession qu'il défend, l'objectif n'est donc pas de limiter la production de plastiques, mais de perfectionner leur circularité (une fois déchet) : « on considère qu'il faut reconnaître les bénéfices des plastiques dans notre monde, notre société, et, qu'il faut évidemment en éliminer les inconvénients dans les pays où les déchets sont mal gérés et qu'il faut les transformer et que la circularité c'est essentiel et qu'elle est en route » (entretien avec le Directeur France de Plastics Europe, 2022). En définitive, Plastics Europe conçoit l'économie circulaire comme une mutation industrielle progressive et irréversible, rendue nécessaire par les pressions réglementaires, sociétales et économiques, et matérialisée par les investissements dans des projets de recyclage. Cette approche ne remet toutefois pas en cause la production de matières plastiques, ce qui demeure cohérent avec la défense des intérêts de la profession.

128 Deux usines de recyclage chimique, prévues en Moselle et en Seine-Maritime, ne verront finalement pas le jour. Leur abandon s'explique par la combinaison de coûts de production du plastique recyclé chimique supérieurs à ceux du plastique vierge et par le poids économique global de ces projets, jugés trop lourds pour être viables. <https://www.linfordurable.fr/economie/recyclage-du-plastique-des-projets-freines-par-le-contexte-reglementaire-48122?utm> consulté en septembre 2025

Les plasturgistes : pris entre les exigences du marché et la défense de leurs intérêts

La plasturgie, dernier acteur de la chaîne de production de plastique, englobe « l'ensemble des métiers participants à la transformation des matières plastiques, par la combinaison de la chimie et de la mécanique, en produits finis ou semi-finis » (Debrand, 2018). Les entreprises de la plasturgie s'approvisionnent en polymères auprès de grands groupes chimiques en amont, tandis qu'en aval, elles fournissent des produits plastiques à des donneurs d'ordres (leurs clients) issus de divers secteurs économiques. Parmi ces secteurs figurent notamment l'automobile, l'aéronautique, l'emballage, le médical, l'électronique, le bâtiment, et bien d'autres encore.

Les procédés de transformation des polymères

Pour répondre aux exigences variées de ces industries, les procédés techniques de transformation des polymères jouent un rôle crucial, permettant d'adapter les plastiques à des applications spécifiques. Il existe quatre principaux procédés de la plasturgie :

- « L'extrusion est de loin le plus important des procédés de mise en forme des polymères »¹²⁹. Il permet la fabrication en série d'objets aux formes et caractéristiques variées, que l'on retrouve quotidiennement dans différents secteurs. Grâce à l'extrusion, il est possible de produire des objets de forme longue, tels que des canalisations et des câbles électriques, des objets creux, comme des flacons de lessive et des réservoirs, ainsi que des objets plats, comme des films et sacs plastiques utilisés pour divers emballages. Le processus d'extrusion repose sur un équipement clé : l'extrudeuse, qui prépare la matière plastique pour lui donner sa forme finale. Ce processus se déroule en plusieurs étapes : d'abord, la matière, sous forme de granulés ou de poudre, est introduite dans une trémie, descendant par gravité dans un fourreau. Ensuite, elle est plastifiée et fondue par l'effet combiné de la rotation d'une vis sans fin et d'un système de colliers chauffants, ce qui assure une texture homogène et malléable. Finalement, la vis pousse la matière plastifiée à travers une tête d'extrusion, où un outillage spécifique confère à la matière sa forme finale¹³⁰.
- Le thermoformage est une technique de fabrication qui consiste à chauffer une feuille ou une bobine de plastique pour la ramollir, puis à la modeler à l'aide d'un moule. Une fois refroidi, le plastique durcit et conserve la forme imprimée par le moule. Ce procédé est particulièrement adapté aux productions en petites et moyennes séries, ainsi qu'à la création de prototypes. Le thermoformage utilise uniquement des plastiques thermoplastiques – des matériaux qui se déforment sous l'effet de la chaleur, comme le polystyrène (PS), le polypropylène (PP), le polycarbonate (PC), l'acrylonitrile butadiène styrène (ABS) et le polychlorure de vinyle (PVC). Le processus de thermoformage se déroule en plusieurs étapes essentielles. Tout d'abord, le plastique est chauffé pour le rendre malléable, ce qui permet de le préparer à la mise en forme. Ensuite, le moule s'élève et entre en contact avec le plastique encore chaud, le modelant ainsi selon la forme désirée. Une fois le moule en position, un système d'aspiration est activé pour coller le plastique au moule, évacuant simultanément les bulles d'air qui pourraient compromettre

129 <https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/materiaux-th11/plasturgie-procedes-d-extrusion-42150210/extrusion-am3650/>, consulté en novembre 2024

130 <https://www.polyvia-formation.fr/la-plasturgie-cest-quoi/lextrusion-quest-ce-que-cest> consulté en novembre 2024

la qualité de la pièce. Après cette phase de moulage, le matériau refroidit, durcissant et prenant définitivement la forme souhaitée. Enfin, une fois que la pièce a atteint une température suffisamment basse pour se solidifier, elle est soigneusement démoulée, prête à être utilisée ou à subir d'autres traitements si nécessaire. Cette technique est particulièrement intéressante, car elle permet de minimiser les pertes de matériau, car les chutes peuvent être réutilisées pour de nouvelles pièces directement lors du processus de fabrication. Le thermoformage est employé pour fabriquer une vaste gamme de produits, allant des objets simples aux pièces plus complexes, utilisés dans des secteurs variés, comme l'aéronautique, le médical, l'automobile et l'emballage. Parmi les exemples concrets, on trouve les baignoires, barquettes alimentaires, pots de yaourt, pare-chocs de voiture et cabines de douche¹³¹.

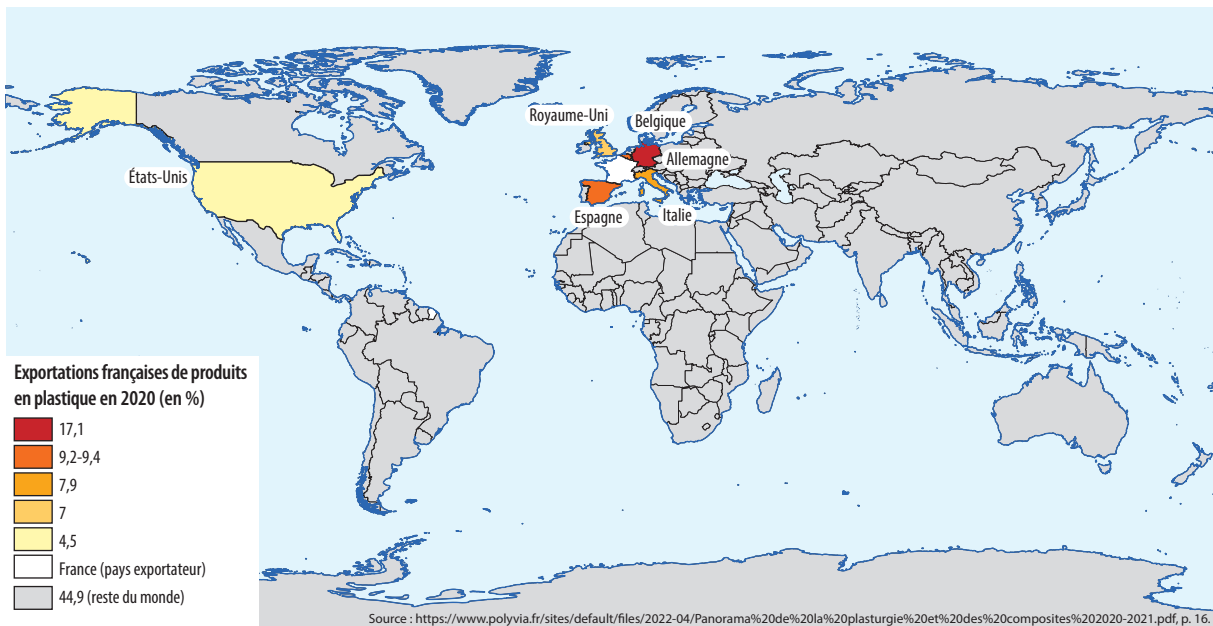
- L'injection plastique est une technique de fabrication qui utilise des moules pour former des pièces en plastique. Le processus débute par le chargement de granulés de résine dans une trémie, qui constitue l'entrée du matériau. Ces granulés sont ensuite chauffés et fondus dans un cylindre, préparant ainsi la matière pour l'injection. Le matériau fondu est ensuite injecté à travers la buse de l'unité d'injection, traverse un passage appelé carotte et remplit le moule via des canaux de coulée. Une fois dans le moule, le plastique refroidit et se solidifie. Après cette étape, le moule s'ouvre pour permettre l'éjection de la pièce moulée. Enfin, les parties non nécessaires, telles que la carotte et les canaux, sont découpées pour finaliser la pièce. Ce procédé d'injection plastique est particulièrement efficace pour produire en grande quantité des pièces variées et complexes de manière rapide et continue¹³².
- Le soufflage est une technique utilisée pour créer des objets creux, comme les bouteilles et les contenants. Le procédé commence avec une «préforme» ou un «tube parison» (un tube de plastique chauffé). Ensuite, de l'air est insufflé dans la préforme pour qu'elle prenne la forme du moule environnant, créant ainsi des parois creuses. On distingue le soufflage extrusion (pour les grandes bouteilles) du soufflage injection (pour des formes plus complexes).

Les plasturgistes français, face aux exigences du marché

La filière plasturgie et composites en France est ouverte largement à l'international, permettant aux entreprises du secteur de diffuser leurs produits à travers le monde. En effet, la majorité des exportations de cette industrie en 2020 (*cf.* carte 3) se dirigent vers l'Union européenne, représentant 50,6 % des exportations. D'autres destinations comprennent les États-Unis (4,5 %) et le reste du monde (44,9 %) (Polyvia, 2021), la France se trouve en déficit commercial en ce qui concerne les produits plastiques, en important davantage qu'elle n'en exporte.

131 <https://www.polyvia-formation.fr/la-plasturgie-cest-quoi/le-thermoformage-cest-quoi> consulté en novembre 2024

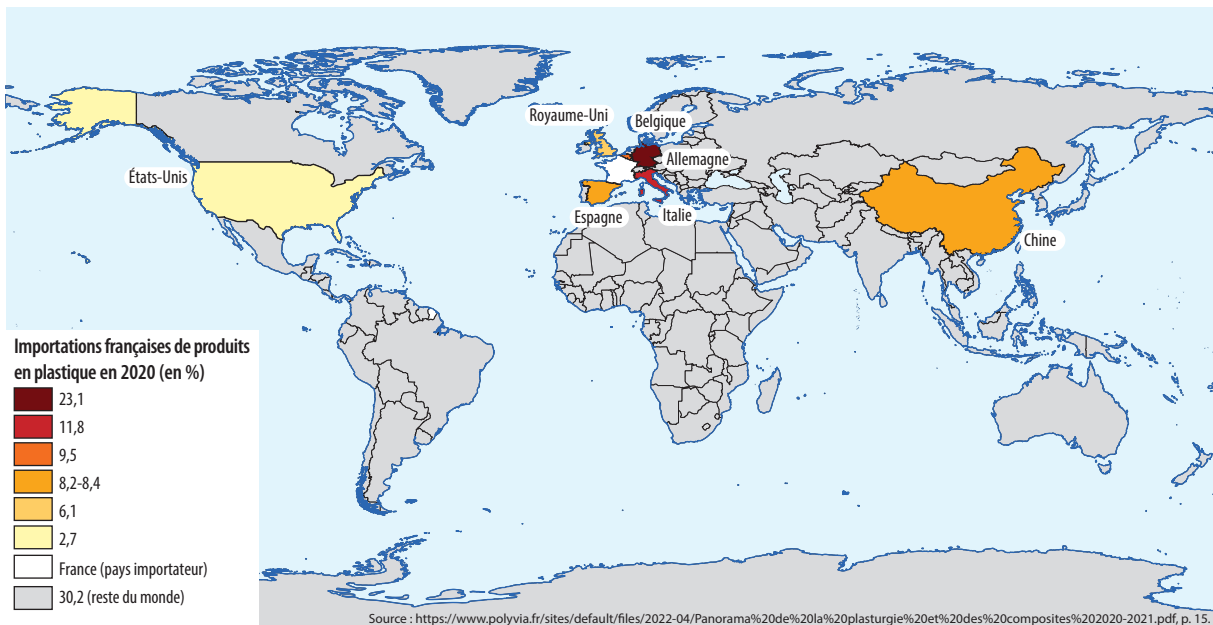
132 <https://www.keyence.fr/ss/products/measure-sys/machining/injection-molding/about.jsp> consulté en novembre 2024



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université et S.ANGONNET, ESO-CNRS, Le Mans Université, 2025.
Source : Polyvia, Panorama de la plasturgie et des composites, 2021.

Carte 3 : Exportations mondiales de produits en plastique en 2020

Les principales origines de ces importations (cf. carte 4) au sein de l'Europe sont l'Allemagne, l'Italie et la Belgique (Polyvia, 2021). En Europe, le secteur est dominé par l'Allemagne, qui assure 22,1 % de la production communautaire, suivie par la Belgique et les Pays-Bas ; la France se classe quatrième avec une part de 9,4 % de la production (Plastics Europe, 2024).



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université et S.ANGONNET, ESO-CNRS, Le Mans Université, 2025.
Source : Polyvia, Panorama de la plasturgie et des composites, 2021.

Carte 4 : Importations mondiales de produits en plastique en 2020

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

La filière plasturgie en France se compose principalement d'entreprises de petite taille, avec 98 % étant des très petites entreprises (TPE) ou des petites et moyennes entreprises (PME). En moyenne, ces entreprises emploient 36 salariés (observation de terrain, Webinaire plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche, IPC, 2022). En 2021, le secteur comptait 121 585 employés. La plasturgie regroupe plus de 3 000 établissements, dont 60 % sont des TPE et 37 % des PME, totalisant plus de 130 000 salariés. En 2022, cette filière a généré un chiffre d'affaires de 42 milliards d'euros au niveau national (Chastel, 2024 :123). Trois secteurs d'activités, à eux seuls, concentrent près des deux tiers du chiffre d'affaires de la filière : l'emballage, avec 26 % ; le bâtiment et l'énergie, avec 20 % ; la mobilité, avec 18 %. Le reste du chiffre d'affaires est réparti entre divers secteurs, tels que la santé, l'électronique, l'électricité, les pièces techniques industrielles, la grande consommation, l'agriculture, et d'autres (Chastel, 2024 : 123).

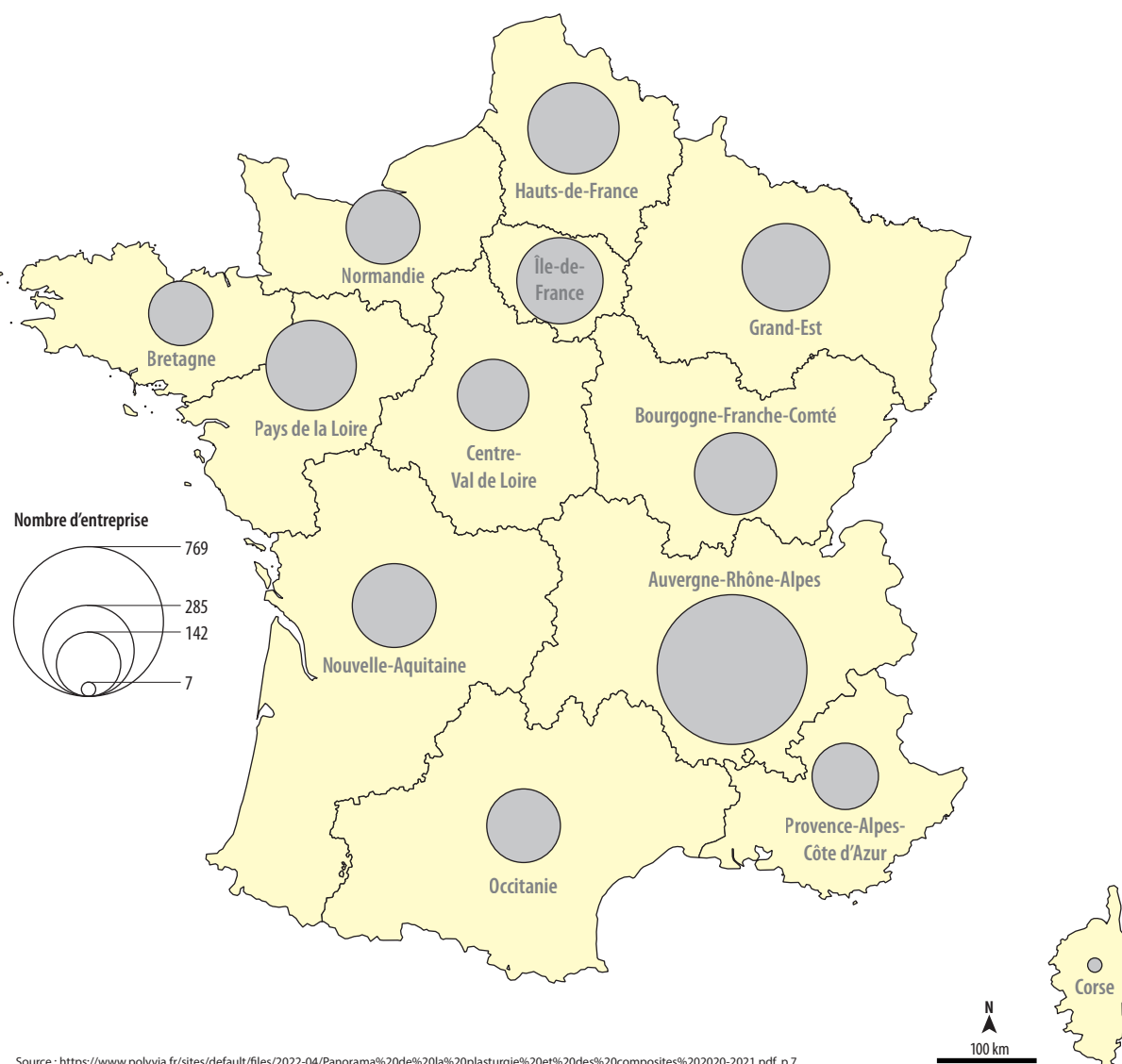
En France, l'industrie de la plasturgie présente une forte concentration régionale (*cf.* figure 34), avec un pôle majeur en Auvergne-Rhône-Alpes¹³³. Totalisant 769 plasturgistes, la région Auvergne-Rhône-Alpes se démarque nettement des autres régions. Cela représente un écart très significatif par rapport aux autres, avec près de 500 plasturgistes de plus que la deuxième région, les Hauts-de-France. Cette région emploie, en 2019, 23 000 salariés, soit plus de 21 % des effectifs du secteur au niveau national.

L'implantation historique de l'industrie plastique en Auvergne-Rhône-Alpes remonte à la découverte du nitrate de cellulose (ou celluloïd). En 1899, la première usine de production de celluloïd, l'Oyonnaxienne, est fondée pour approvisionner cette industrie naissante¹³⁴. Au fil du temps, l'activité se diversifie, avec l'apparition de nouvelles matières synthétiques et de procédés innovants. Dans les années 1930, Oyonnax devient le lieu d'implantation des premières presses à injecter, d'abord utilisées pour la fabrication de lunettes, puis de jouets et d'articles ménagers. Depuis lors, le dynamisme de ce territoire, désormais surnommé «Plastics Vallée», n'a fait que se développer, la vallée étant aujourd'hui le premier pôle plasturgique en Europe (Buf, 2024 : 117). Un autre pôle de la plasturgie dans cette région est le plateau de Sainte-Sigolène (Haute-Loire). Ces deux pôles concentrent respectivement 18 % et 9 % de l'emploi salarié du secteur en région. On y observe une spécialisation distincte des procédés : l'injection plastique est prédominante à Oyonnax, tandis que l'extrusion domine à Sainte-Sigolène. Malgré cette forte présence, l'Auvergne-Rhône-Alpes n'accueille pas les plus grands établissements du secteur. À l'échelle nationale, les plus grandes unités de production se trouvent en Normandie, dans les Pays de la Loire, et en Provence-Alpes-Côte d'Azur. En Auvergne-Rhône-Alpes, les plus importants établissements, tels que Namera à La Verpillière, Qualipac à Aurillac et Plastic Omnium à Sainte-Julie, se situent respectivement aux 10^e, 12^e et 13^e rangs au niveau national.

Le dynamisme de ce secteur d'activité s'est également imposé dans d'autres régions, principalement en Haut de France, Pays de la Loire et Grand-Est. À elles seules, ces quatre régions regroupent 1 596 sites de la plasturgie, soit davantage que l'ensemble des neuf autres régions du territoire national, qui en totalisent 1 575 (*cf.* carte 5).

133 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6668468> consulté en octobre 2024

134 <https://www.insee.fr/fr/statistiques/6668468> consulté en octobre 2024



Source : <https://www.polyvia.fr/sites/default/files/2022-04/Panorama%20de%20la%20plasturgie%20et%20des%20composites%202020-2021.pdf>, p.7.

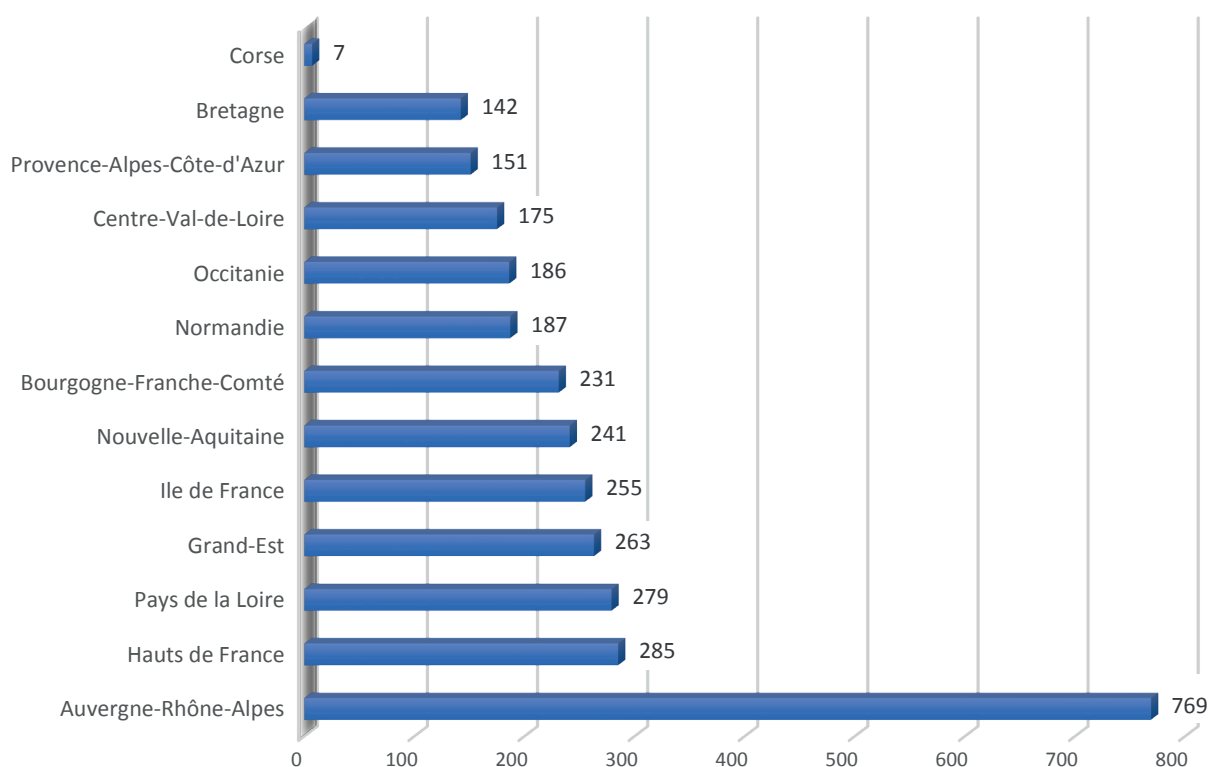
© J.PEREZ , ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université et S.ANGONNET, ESO-CNRS, Le Mans Université, 2025.
 Source : Polyvia, Panorama de la plasturgie et des composites, 2021.

Carte 5 : Nombre d'entreprises de la plasturgie par région française

Dans les Pays de la Loire, les entreprises de plasturgie emploient près de 17 000 personnes, ce qui en fait la deuxième région française en termes de main-d'œuvre, juste après Auvergne Rhône-Alpes (Buf, 2024). À l'échelle nationale, la plasturgie est dominée par le secteur de l'emballage, qui représente 42 % des débouchés, suivi par la construction (21 %) et les transports (10 %) (Polyvia, 2023). Comparés à cette structure, les Pays de la Loire présentent un profil spécifique : la région est nettement moins orientée vers l'emballage (15 % contre 42 % en France), mais davantage spécialisée dans le BTP (30 % contre 21 %). Par ailleurs, la part importante des pièces techniques (35 %) traduit un tissu industriel orienté vers les composants multisectoriels et l'automobile, quant au niveau national, les « transports » ne pèsent que 10 % des débouchés (Polyvia, 2023). Dans cette région, le secteur du bâtiment est prédominant, principalement en raison de la présence d'un grand nombre d'entreprises spécialisées dans la fabrication de menuiseries industrielles en PVC. Le secteur de l'emballage représente également un

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

utilisateur majeur de plastique, en lien avec des secteurs industriels bien implantés dans la région, tels que l'agroalimentaire, ainsi que, dans une moindre mesure, la santé et la cosmétique (Buf, 2024 : 117). En aux Hauts-de-France, cette région se distingue par un effectif moyen de 47 salariés dans ses entreprises de plasturgie, bien au-dessus de la moyenne nationale de 36 salariés. Le tissu industriel y est particulièrement dense, avec une forte présence de filiales de grands groupes qui assurent la production et la commercialisation de nombreux produits. La région attire d'importants donneurs d'ordres, ce qui a pour effet d'augmenter les effectifs dans les entreprises de sous-traitance locale. Ce dynamisme est également visible dans le Grand Est, qui se classe désormais 4^e au niveau national pour le nombre de sites dans ce secteur. La région se distingue par une grande diversité d'entreprises, allant des petites structures locales à des sites industriels de plus grande envergure. Comme pour la région des Hauts-de-France, le Grand-Est dépasse la moyenne nationale de 36 employés avec une moyenne régionale de 46 salariés par entreprise, reflétant la structure particulière du secteur : une présence relativement forte d'entreprises de taille moyenne ou intermédiaire et une proportion importante d'emplois de production. Le Grand-Est se caractérise donc par une plasturgie à forte intensité de main-d'œuvre, où les postes ouvriers restent majoritaires.

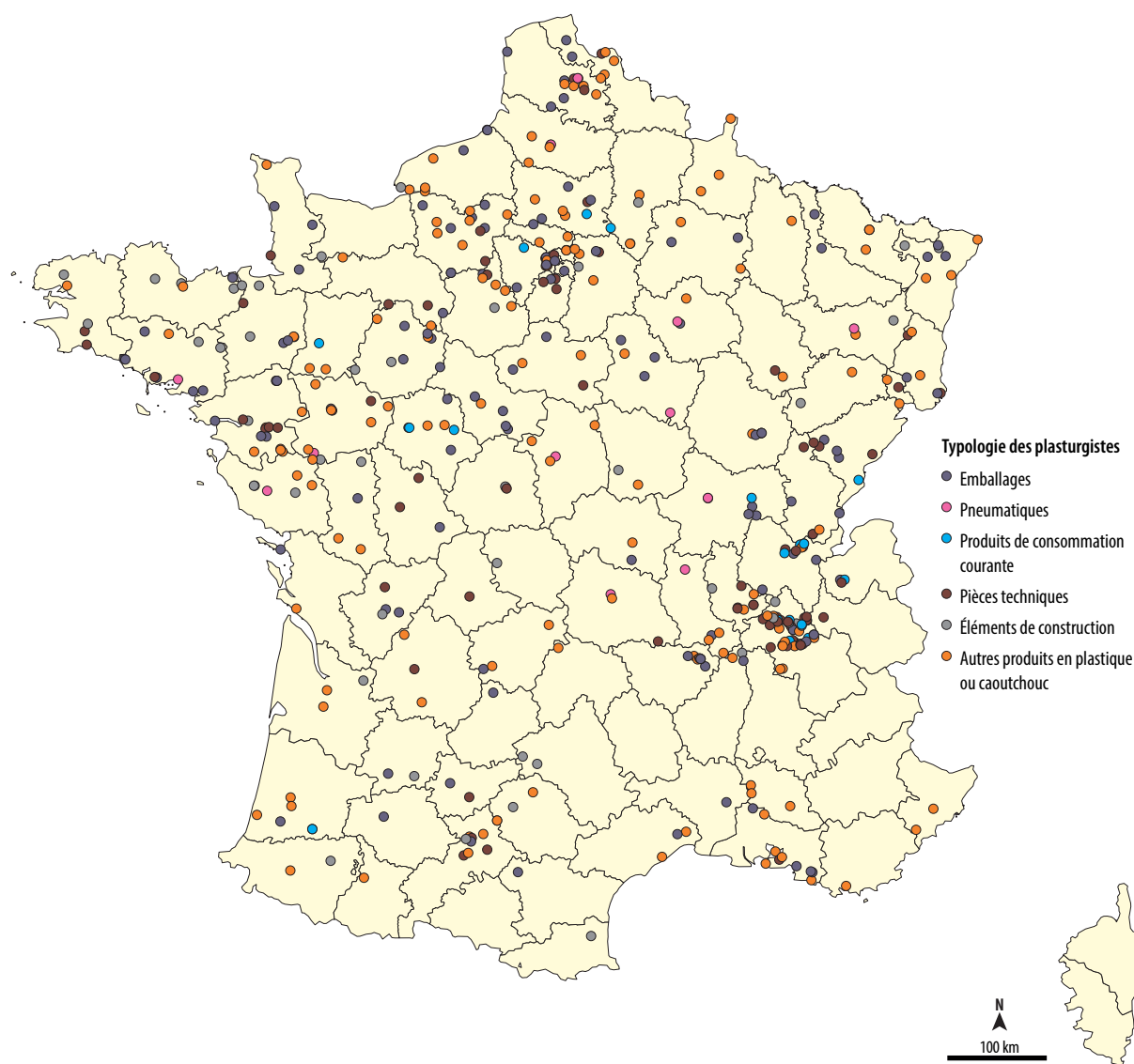


© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, Le Mans Université, 2024.
Source : Statista Research Department, 2024.

Figure 34 : Graphique représentant le nombre des plasturgistes français en 2021

La carte de la répartition des sites de plasturgie en France ainsi que la typologie des produits fabriqués (cf. carte 6) ne présente géographiquement que 457 sites de plasturgie, contre 3 171 sites référencés en 2021. La totalité des sites n'a pas pu être représentée, car nous ne disposons pas de toutes les données nécessaires (géolocalisation, noms des structures) pour chacun d'entre eux, en raison d'un manque

d'informations disponibles¹³⁵. Néanmoins, la carte met en évidence à la fois une forte concentration des sites en Île-de-France, Auvergne-Rhône-Alpes, Pays-de-la-Loire, Grand Est et Hauts-de-France, en cohérence avec la répartition réelle des plasturgistes en 2021, mais aussi une relative dispersion de ces industries sur l'ensemble du territoire national.



© J.PEREZ , ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université et S.ANGONNET, ESO-CNRS, Le Mans Université, 2024
Sources : Industrie explorer : <https://industrie.usinenouvelle.com/classement/secteur-10>
La région Auvergne-Rhône-Alpes, carte dynamique des acteurs de la filière emballage, 2024

Carte 6 : Représentation non exhaustive des plasturgistes français et des matières qu'ils transforment

Ce que nous souhaitons particulièrement illustrer sur cette carte, c'est la typologie des plastiques transformés par site. Chaque site se spécialise dans une catégorie de produits (emballages, pneumatiques,

135 Les données que nous disposons viennent des sources suivantes : <https://industrie.usinenouvelle.com/classement/secteur-10>
<https://plateforme-iet.auvergnerhonealpes-entreprises.fr/informations-sectorielles/cartes-et-annuaires/carte-dynamique-des-acteur-es-des-filieres-plasturgie-et-composites>

produits de consommation courante, pièces techniques, éléments de construction, autres produits), mais au sein de cette même catégorie, les spécialisations varient. Par exemple, dans la catégorie des emballages, un site peut concevoir et fabriquer des mousses techniques destinées au transport de produits dans des caisses, containers ou bacs. Un autre site peut se concentrer sur la production d'emballages pour produits laitiers, réalisés en polypropylène ou PET recyclables. Un autre se spécialise dans la fabrication de moules à pâtisserie (comme des moules à bûches ou entremets) ou des moules sur mesure. Un autre encore fabrique des bidons de diverses contenances. Enfin, certains sites produisent des emballages souples, des manchons rétractables ou des étiquettes sèches. Ces exemples montrent la diversité des produits fabriqués au sein même d'une catégorie.

Le secteur de la plasturgie est particulièrement varié en raison de la diversité des marchés consommateurs de matières plastiques. En France, en 2018¹³⁶, près d'un tiers des entreprises se consacrent à la fabrication de pièces techniques destinées à l'industrie, un peu plus d'un quart à des produits pour la construction, et environ 20 % à la production d'emballages en plastique. Ces entreprises, confrontées à des clients aux exigences accrues de qualité, de délai et de coûts, ont peu de latitude dans leurs négociations. Le pouvoir de décision, notamment en termes de prix de vente, revient non pas aux plasturgistes eux-mêmes, mais aux metteurs sur le marché, c'est-à-dire les grandes entreprises clientes qui dictent les conditions commerciales : « Il faut comprendre les échelles économiques dans nos métiers, ce n'est pas le plasturgiste qui décide, mais c'est le metteur sur le marché » (observation de terrain, webinar plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche, IPC, 2022). Cette relation de dépendance est accentuée par les rapports de force asymétriques entre les plasturgistes et leurs fournisseurs en amont – les groupes pétrochimiques – et les grands donneurs d'ordres en aval (Lozier & Sulzer, 2007). Cette dynamique s'inscrit dans la continuité des rapports de dépendance identifiés par Lozier & Sulzer (2007), mais la situation a évolué avec la montée en puissance des enjeux de la circularité des matériaux. Les plasturgistes sont particulièrement sollicités sur l'incorporation de MPR : « la demande des industriels est de garantir la stabilité des MPR injectés dans les produits » (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Or, les propriétés des MPR restent instables : « Les MPR ont des propriétés variables et il faut à la fin un produit de qualité constante » (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Cette évolution des marchés de matières premières accentue la complexité des relations avec les fournisseurs. Alors que l'achat de matière vierge peut souvent se faire via un fournisseur unique, l'approvisionnement en MPR nécessite de multiplier les contacts : « Il faut changer la politique d'achat : pour l'achat de matière vierge, on fait appel à un fournisseur ; pour du MPR, il faut faire appel à 4 ou 5 fournisseurs, car, aujourd'hui, il n'y a pas de stock énorme » (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Cette complexité accrue dans l'approvisionnement oblige les plasturgistes à repenser leur organisation et leurs processus de production. Pour rester compétitifs, ils investissent souvent dans l'automatisation et les outils de production assistés par ordinateur afin de gagner en productivité. Cependant, ces ajustements sont coûteux : « changer une ligne de production est très coûteux. Les petits plasturgistes ne peuvent pas suivre » (entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022). Dans le secteur de l'automobile, par exemple, les plasturgistes sont contraints de respecter des normes ISO rigoureuses et de viser le «zéro défaut» afin de répondre aux attentes

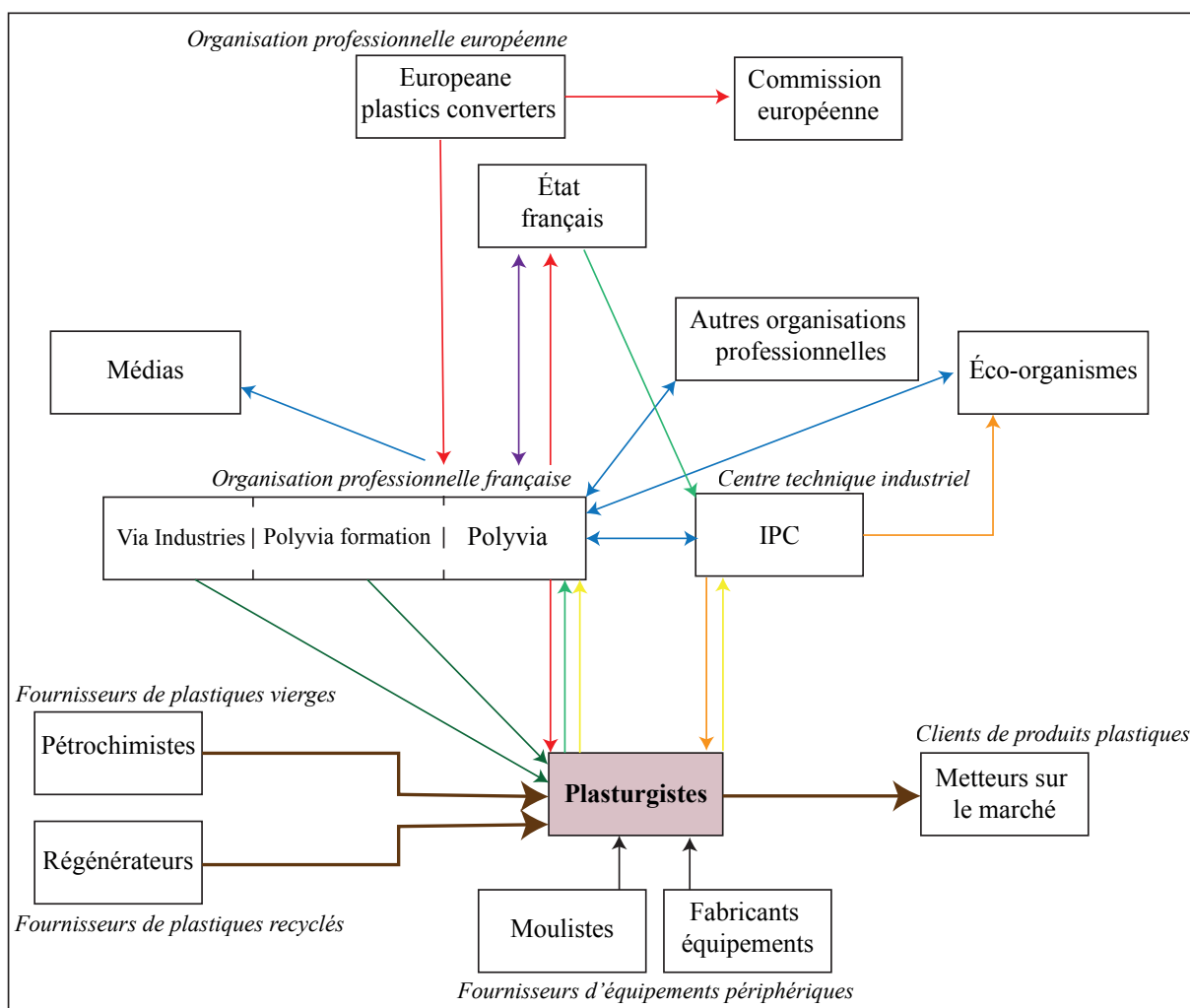
136 <https://fr.statista.com/themes/3177/l-industrie-plastique-en-france/#topicOverview> consulté en novembre 2024

de leurs clients, un impératif renforcé par l'importance croissante des propriétés intrinsèques et des fonctionnalités des pièces produites¹³⁷. Ils travaillent aussi sur l'écoconception pour permettre la réincorporation des matières plastiques recyclées, un enjeu actuel majeur qui les pousse à développer de nouvelles méthodes de transformation afin d'assurer la continuité de la qualité des produits pour leurs clients. Face à la volatilité des prix des matières premières, les plasturgistes sont particulièrement vulnérables, car toute augmentation de leurs coûts de production est difficile à répercuter sur les prix de vente (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Cette réalité force les entreprises de la plasturgie à se tourner vers l'innovation, avec des efforts aujourd'hui axés sur l'intégration de plastique recyclé et réemployable (même si, selon les chiffres présentés dans la partie 2, cette intégration reste encore relativement limitée), une démarche qui répond aux évolutions du marché et aux attentes des consommateurs (observation de terrain, webinaire plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche, IPC, 2022).

Une organisation d'acteurs structurée pour défendre les intérêts de la profession

Les plasturgistes français, représentant un large éventail de techniques et de tailles d'entreprises, se sont unis au sein de Polyvia, anciennement connue sous le nom de la Fédération de la plasturgie et des composites. Ce syndicat regroupe aujourd'hui plus de 1500 membres à travers le pays (entretien, Directeur Développement durable, Polyvia, 2022). Polyvia joue un rôle central dans la gouvernance du secteur, représentant près de 47 % des sites de plasturgie en France. En tant qu'acteur clé du paysage industriel, elle défend les intérêts des plasturgistes tout en offrant à ses membres un réseau solide et des ressources mutualisées. Polyvia participe activement à la structuration du secteur, en collaborant avec différents acteurs et institutions afin d'influencer et de répondre aux exigences réglementaires. Ainsi, les plasturgistes s'intègrent dans un écosystème global d'acteurs, comme le montre la figure 35.

137 <https://fce.cfdt.fr/analyse-sectorielle-de-la-plasturgie/> consulté en novembre 2024



Légende :

Relations fonctionnelles	Jeux d'acteurs	Flux de matières plastiques
Etudes techniques	Défense des intérêts	Plastiques
Financement	Tensions	
Mandate	Communication	

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 35 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des plasturgistes français

Au cœur de ce système, les plasturgistes sont étroitement liés à des acteurs clés qui permettent la réalisation de leur activité. Ils collaborent avec les fournisseurs de matières plastiques, tels que les pétrochimistes, ainsi qu'avec les recycleurs, qui les approvisionnent en matières vierges et recyclées. Par ailleurs, ils dépendent également des fournisseurs d'équipements périphériques, comme les moulistes et les fabricants d'équipements spécialisés, qui fournissent les outils et machines nécessaires à la transformation des polymères. Sans la contribution de ces acteurs, les plasturgistes ne seraient pas en mesure de mener à bien leur production. En aval, leurs clients, les metteurs sur le marché, se chargent de la commercialisation des produits plastiques. « On (Polyvia) est amené à travailler beaucoup avec les fournisseurs et les clients sur des positions communes. Le point commun c'est le matériau plastique,

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

qu'on défend auprès des pouvoirs publics, des parlementaires, on communique dans la presse, les réseaux sociaux. On utilise tous les moyens que l'on dispose (silence) ... voilà tout à fait dans l'honnêteté et dans la transparence la plus totale » (entretien, Directeur Développement durable, Polyvia, 2022). Ainsi, ces acteurs se positionnent en défenseurs du plastique et ne questionnent pas sa présence massive dans la société ; cela découle directement de leur mission, qui consiste précisément à en garantir la légitimité et à en assurer la pérennité.

Polyvia occupe donc une position stratégique dans la défense des intérêts de la filière et dans sa communication. Financée par les cotisations de ses membres, elle assure la représentation des plasturgistes tant au niveau national qu'international : « notre rôle c'est d'essayer de comprendre ce qui se passe à l'extérieur et puis de voir par rapport à ce qui se passe d'essayer d'adapter nos industriels, nos façons de faire à ces situations et puis apporter des solutions pour que ça s'améliore. Mais d'essayer d'interagir aussi pour faire valoir nos positions. On travaille avec l'ensemble de la chaîne de valeur, avec les parties prenantes et en particulier avec les pouvoirs publics, puisque le plastique génère beaucoup de lois et de règlements. Donc on travaille avec les pouvoirs publics pour à la fois défendre nos industriels, pour que ces lois soient des objectifs et que les dispositifs soient réalistes et pas trop pénalisants du point de vue économique et socio-économique. » (Fédération des transformateurs de polymères, entretien, 2022). Polyvia interagit donc avec le gouvernement français « même parfois avec le cabinet du premier Ministre quand les sujets sont très importants (...), mais plus souvent avec la DGPR la Direction générale de la prévention des risques, grande administration¹³⁸ qui a sous sa responsabilité toute la question de la gestion des déchets et ce qui tourne autour de l'économie circulaire. C'est eux qui rédigent tous ces textes-là, mais ils font beaucoup de concertation avec les acteurs concernés, donc on est régulièrement invités à des réunions et des échanges et c'est là qu'on peut faire notre part à l'oral, mais surtout à l'écrit de nos remarques, de nos demandes, de nos interrogations, de nos inquiétudes » (entretien avec le Directeur Développement durable de Polyvia, 2022).

Polyvia intervient également au niveau de la Commission européenne via l'European Plastics Converters, qui fait du lobbying en faveur de la filière auprès des instances européennes. L'European Plastics Converters, représente les transformateurs de plastiques¹³⁹ qui utilisent les résines produites par les membres de Plastics Europe (producteurs de polymères) pour fabriquer des produits. Plastics Europe agit donc plus en amont, au niveau de la production de la matière, tandis que l'European Plastics Converters se situe en aval, au niveau de la transformation et de la mise sur le marché des objets plastiques. Ces deux structures ont donc des prises de positions différentes. L'European Plastics Converters pratique un lobbying centré sur les conditions de marché et la compétitivité des entreprises de plasturgie tandis que Plastics Europe va peser sur les réglementations qui encadrent la production de matière plastique pour défendre les intérêts des groupes pétrochimiques.

Polyvia échange également avec des éco-organismes et d'autres organisations professionnelles qui utilisent du plastique. « On est aussi membre du MEDEF¹⁴⁰ et de la CPME¹⁴¹. CPME c'est les

138 Service du ministère de la transition écologique

139 <https://www.plasticsconverters.eu/> consulté en septembre 2025

140 Mouvement des Entreprises DE France

141 Confédération des Petites et Moyennes Entreprises

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

représentants des petites entreprises, c'est aussi le concurrent du MEDEF¹⁴². Mais c'est intéressant pour nous, car c'est là qu'on peut rencontrer nos fédérations proches et puis il y a beaucoup d'informations, ça permet beaucoup d'échanges avec les autres secteurs industriels. On parle avec l'EFCB la fédération du commerce de tous les grands groupes type Carrefour, Auchan, tout ça, forcément, ces gens-là, ils vendent des produits qui sont emballés dans du plastique, ils vendent aussi des jouets... donc le plastique c'est un sujet pour eux, car ils ont des consommateurs » (entretien avec le Directeur Développement durable de Polyvia, 2022).

Polyvia ne se limite pas à la défense des intérêts des plasturgistes, elle s'engage également dans la formation de leurs collaborateurs. À travers Polyvia Formation, l'organisation propose des formations¹⁴³ continues destinées aux industriels, permettant aux salariés de se perfectionner dans des domaines tels que l'économie circulaire, l'écoconception, le bilan carbone, et la décarbonation. Parallèlement, Polyvia soutient la formation initiale en collaborant avec des lycées, des centres d'apprentissage et des écoles d'ingénieurs spécialisés dans la plasturgie¹⁴⁴. De plus, Via Industries, une entité commune entre Polyvia et une structure de métallurgie (UIMM 35-56)¹⁴⁵ offre plusieurs prestations pour ses membres. Ces services incluent des accompagnements sur les aspects juridiques, sociaux (RH) et techniques. Un catalogue complet de prestations est disponible, mais les industriels peuvent également bénéficier d'accompagnements sur mesure, adaptés à leurs besoins spécifiques (entretien avec le Directeur Développement durable de Polyvia, 2022)¹⁴⁶.

En plus de Polyvia, les plasturgistes français disposent d'un centre technique industriel, appelé IPC. Cet organisme est dédié à la recherche appliquée dans le domaine des polymères et des composites. Avec un budget annuel de 5 à 7 millions d'euros, financés principalement par une taxe fiscale¹⁴⁷, IPC compte environ 2000 bénéficiaires, incluant des entreprises, des institutions publiques et des acteurs académiques (entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022). Toute entreprise fabriquant des produits dans les secteurs de la transformation des matières plastiques et des composites a le statut de bénéficiaire d'IPC. En revanche, les entreprises n'ont pas l'obligation d'adhérer à Polyvia.

Cet organisme propose des prestations en Recherche et Développement (R&D) grâce à ses laboratoires et équipements spécialisés. Par exemple, IPC collabore avec l'éco-organisme Citeo : « ce sont [les éco-organismes] des acteurs importants et comme ils sont de plus en plus et, comme leur poids est important, ils ont des objectifs, ils travaillent sur des cahiers des charges avec des objectifs de recyclage, de réutilisation, réemploi, de collecte, etc. Ils drainent beaucoup de finance, donc ils peuvent financer des travaux de recherches sur le plastique d'où l'intérêt de travailler avec eux » (entretien avec le Directeur Développement durable de Polyvia, 2022).

142 Le MEDEF et la CPME sont des syndicats patronaux

143 Dispensées au pôle universitaire d'Alençon sur le Campus de Damigny

144 Un partenariat a été signé avec l'École des Mines-Télécom de l'Université de Lille

145 UIMM 35-56 est l'Union des Industries et Métiers de la Métallurgie Ille-et-Vilaine et Morbihan

146 Entre la phase d'entretien et la finalisation de la rédaction de cette thèse, Polyvia Formation et Via Industries ont fusionnées en octobre 2024 sous une même marque : Polyvia solutions.

147 La Loi n° 2003-1312 du 30 décembre 2003 institue « une taxe pour le développement des industries de la transformation des matières plastiques et des composites à matrice organique (résines thermoplastiques et thermodurcissables) » qui est affecté à IPC pour « financer les missions de recherche, de développement, d'innovation et de transfert de technologies qui lui sont dévolues en application de l'article L. 521-2 du code de la recherche ».

IPC peut ainsi aider les entreprises à résoudre des problématiques techniques, à choisir les matériaux adaptés à leurs projets ou à améliorer leurs procédés de fabrication. Il répond également à des projets de recherches financés par des fonds publics, notamment ceux de l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), de la Commission Européenne et de l'Ademe (entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022).

Le positionnement des plasturgistes face à la circularité des matières plastiques : entre ambitions et contraintes

Les acteurs du secteur de la plasturgie affichent un engagement manifeste pour développer des compétences et des outils permettant d'intégrer le recyclage, l'écoconception et l'utilisation de matières recyclées dans leurs processus industriels : « nous (Polyvia et IPC), on forme nos industriels dans le cadre réglementaire et avec toutes les nouvelles exigences. Car il faut augmenter le recyclage, il faut augmenter l'utilisation de matières recyclées, il faut écoconcevoir les produits » (entretien, Fédération des transformateurs de polymères, 2022). Ainsi, la volonté des fédérations est de préparer leurs membres aux contraintes légales et aux attentes croissantes en matière de circularité. Pour ce faire, elles disposent de « toute une panoplie d'outils et de moyens qui fait que la plasturgie française garde son niveau européen » (entretien, Fédération des transformateurs de polymères, 2022). L'objectif sous-jacent est clair : garantir la compétitivité et le maintien de la profession des plasturgistes. Dans ce contexte, le développement de la circularité n'est pas envisagé comme une fin en soi, mais comme un levier stratégique pour protéger et renforcer la profession.

Cependant, l'ambition affichée de circularité des matières plastiques se heurte à des contraintes techniques et matérielles importantes. Certains acteurs du secteur soulignent qu'une circularité totale des flux n'est pas techniquement (encore) réalisable : « Je veux insister sur la complexité : aujourd'hui on n'est pas capable d'assurer la recyclabilité de tous les produits manufacturés » (observation de terrain, Webinaire plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche, IPC, 2022). De même, il est observé que « on nous vend un monde 100 % circulaire, mais la réalité c'est qu'on va vers un monde mélangé entre matières vierges et MPR. Soit un mélange de produit circulaire et de produit pétrolier » (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Ces constats illustrent que le modèle circulaire demeure partiellement hybride et reste dépendant de la production de polymères vierges.

Par ailleurs, si les plasturgistes mettent fortement l'accent sur le recyclage, les autres dimensions de l'économie circulaire, comme la réduction et le réemploi, sont relativement peu mobilisées. Le réemploi, en particulier, apparaît davantage comme une contrainte réglementaire que comme une stratégie volontaire : « C'est la loi AGECE qui nous met la pression pour aller vers le réemploi » (entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022). Et, la réduction ne semble pas être une priorité pour ces acteurs : « ce sont les pétrochimistes qui sont responsables de diminuer le nombre de résines » (observation terrain, Assises des déchets 2022, salarié de Polyvia, 2022).

Tout de même, la transition vers davantage de circularité implique pour eux une approche interdisciplinaire. Les plasturgistes identifient un besoin croissant de collaboration avec des chercheurs en sciences humaines et sociales afin de mieux comprendre les comportements des consommateurs et d'adapter leurs stratégies de réemploi et de recyclage : « on se rend compte qu'on ne peut plus travailler seul, on a besoin de travailler avec les ethnologues, anthropologues, des

sociologues, des marketings pour comprendre le comportement des consommateurs. Travailler un peu plus avec les SHS pour aller vers la circularité » (observation de terrain, Webinaire plasturgie & économie circulaire, Directeur de la Recherche, IPC, 2022).

En conclusion, le positionnement des plasturgistes face à la circularité des matières plastiques se caractérise par un engagement technique soutenu par le cadre réglementaire. Les outils d'écoconception et la formation des industriels renforcent progressivement leur capacité à répondre aux exigences de circularité. Cependant, la réalité du recyclage et du réemploi reste encore partielle et largement dépendante du plastique vierge, ce qui illustre la complexité et les limites actuelles de la transition vers un modèle pleinement circulaire.

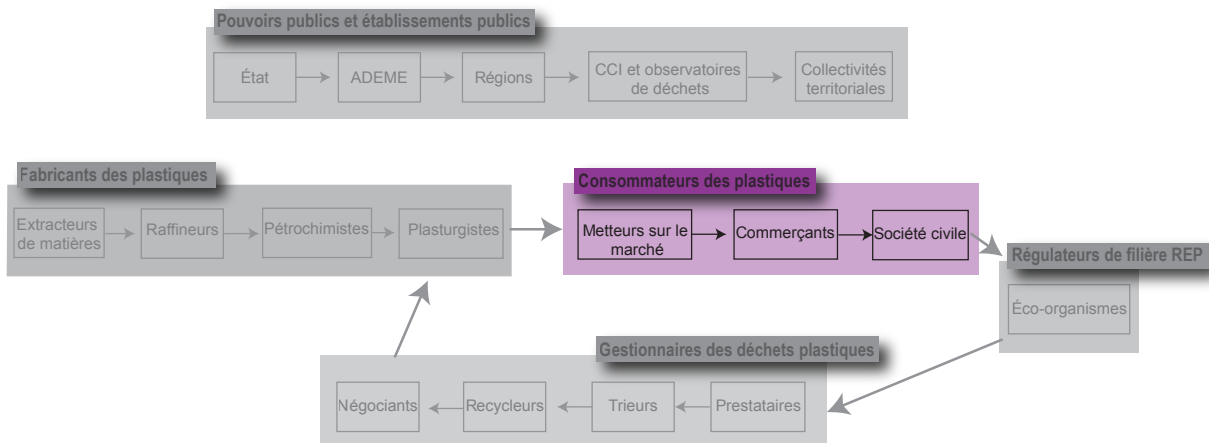
Les acteurs de la consommation des produits plastiques : moteur d'influence sur la production et la demande

Les acteurs de la consommation de plastique se répartissent en deux grandes catégories (*cf.* figure 36). La première comprend les metteurs sur le marché, c'est-à-dire les entreprises qui commandent des produits en plastique auprès des plasturgistes. Ces marques, en sollicitant la fabrication de divers articles en plastique, jouent un rôle clé dans la chaîne de consommation. En tant que clients directs des fabricants, elles participent activement à l'ensemble du processus de production et de distribution de ces matériaux.

La seconde catégorie est celle des utilisateurs finaux, qui se compose en premier lieu des commerçants, tels que les grandes et moyennes surfaces (GMS) qui vendent les produits en plastique aux consommateurs. Elles sont en lien direct avec les metteurs sur le marché en commercialisant leurs produits. Puis, les consommateurs individuels qui vendent et achètent les produits finis et les emballages en plastique proposés sur le marché. Ces consommateurs complètent la chaîne de consommation en intégrant les articles plastiques dans leur quotidien.

Cependant, au-delà de ces deux groupes, la société civile joue un rôle essentiel dans la lutte contre la pollution plastique. Des associations environnementales et des organisations à but non lucratif mobilisent les citoyens – consommateurs - autour de causes liées à la réduction des déchets plastiques, à la sensibilisation aux impacts environnementaux et à la diffusion d'alternatives.

Ainsi, la consommation de plastique implique à la fois les marques qui orchestrent la production, les commerçants qui les vendent et les consommateurs finaux d'objets plastiques, tout en intégrant un mouvement plus large de la société civile vers une prise de conscience et une action collective face à la pollution plastique.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 36 : Les acteurs de la consommation des plastiques

Les metteurs sur le marché : entre coopérations et influences industrielles pour le maintien du plastique jetable

L'introduction des produits plastiques sur le marché de la consommation est opérée par une catégorie d'acteurs appelée les « metteurs sur le marché ». Ce groupe rassemble les fabricants, les importateurs et les distributeurs de produits et d'emballages en plastique. Positionnés en amont de la chaîne de valeur, ces acteurs exercent une influence considérable sur les choix relatifs aux types de plastiques proposés, à leur utilisation et à leur impact tout au long de leur cycle de vie. Leur rôle s'étend de la conception des produits jusqu'à leur gestion en fin de vie, dans le cadre de la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP).

Les metteurs sur le marché, souvent de grandes entreprises industrielles multinationales, établissent les critères de conception des produits plastiques en fonction de leurs stratégies commerciales et des attentes des consommateurs. Ces critères influencent la sélection des matériaux, tels que les plastiques vierges, recyclés ou biosourcés, ainsi que les procédés de fabrication. Par cette démarche, les metteurs sur le marché imposent leurs choix aux fournisseurs et aux sous-traitants, orientant les décisions de toute la chaîne d'approvisionnement. En agissant comme un pont entre les producteurs de plastique, les transformateurs et les utilisateurs finaux, ils jouent un rôle central dans la structuration de la production et de la distribution de produits plastiques, tout en ayant une vue d'ensemble sur l'ensemble du cycle de vie des produits.

En tant que donneurs d'ordres, les metteurs sur le marché influencent non seulement la conception, la production et la distribution des produits plastiques, mais également leur gestion en fin de vie. Dans le cadre des filières REP, le terme « producteur » désigne spécifiquement le premier metteur sur le marché d'un produit en France, qu'il soit fabricant, importateur ou distributeur opérant sous sa propre marque. En conséquence, les metteurs sur le marché sont directement responsables de la gestion des déchets plastiques qu'ils ont mis en circulation. Malgré cette responsabilité, les metteurs sur le marché continuent paradoxalement à inonder le marché de produits plastiques. Ces acteurs, principalement motivés par des impératifs économiques, préfèrent souvent conserver l'utilisation de plastiques au lieu d'investir dans leur prévention, car leur modèle économique est lié à la quantité d'objets vendus et non à leur minimisation. Les systèmes de REP sont censés inciter à

une réduction de l'impact environnemental des produits, à travers une pénalité financière (minime) à la production de plastique. Mais dans les faits, l'incitation demeure largement insuffisante pour freiner la production de biens plastiques. La mise en place d'éco-organismes, chargés de la gestion des déchets (parmi lesquels les plastiques), ne diminue en réalité ni la production de biens de consommation ni la quantité de déchets. Ces organismes, bien que financés et pilotés par les metteurs sur le marché, concentrent leurs efforts sur la collecte et le recyclage, et moins sur la réduction des quantités produites, alors que la capacité de recyclage est limitée, notamment pour les plastiques complexes ou contaminés (*cf.* chapitre 2). Le rapport de la Fondation Ellen MacArthur (Ellen MacArthur Foundation, 2017) pointe que plus de 32 % des plastiques produits sont des emballages à usage unique, qui ne bénéficient pratiquement pas de filières de recyclage pérennes et contribuent massivement à la pollution plastique. La mise en œuvre de la REP s'accompagne de contributions financières exigées par les éco-organismes envers les metteurs sur le marché, qui varient selon le type de plastique et sa recyclabilité.

Des logiques industrielles et commerciales internationales

Les entreprises les plus influentes dans la mise sur le marché de produits et d'emballages plastiques sont principalement des multinationales opérant dans les secteurs de la grande consommation agro-alimentaire et de la distribution. Elles se distinguent aussi comme principaux utilisateurs de plastique à usage unique. D'après le rapport 2023 de l'Ellen MacArthur Foundation (The Global Commitment 2023 Progress Report, 2023), trois groupes dominant particulièrement : The Coca-Cola Company, avec plus de 3,4 millions de tonnes d'emballages plastiques utilisés en 2022, suivie de PepsiCo (2,6 millions de tonnes) et de Nestlé (927 000 tonnes). À leurs côtés, d'autres acteurs mondiaux, comme Danone (763 000 tonnes), Henkel (308 000 tonnes) ou encore L'Oréal (154 000 tonnes) participent également à la diffusion massive de plastiques jetables à l'échelle planétaire.

Les pratiques de ces multinationales ont été pointées du doigt par des organisations environnementales, telles que Greenpeace (Greenpeace, 2021) et la coalition Break Free From Plastic (Break Free From Plastic, 2023), qui les identifient comme des contributeurs majeurs à la pollution plastique. En effet, leurs emballages se retrouvent fréquemment dans les écosystèmes naturels, exacerbant la crise de la pollution plastique à l'échelle mondiale. Dans son rapport de 2023, Break Free From Plastic (Break Free From Plastic, 2023) indique que Coca-Cola (33 820 déchets plastiques sauvages recensés dans 40 pays), PepsiCo (34 780 déchets plastiques sauvages recensés dans 30 pays) et Nestlé (9 931 déchets plastiques sauvages recensés dans 33 pays) demeurent parmi les plus grands pollueurs plastiques au monde depuis le lancement des audits il y a six ans. D'autres multinationales, telles qu'Unilever, Mondelēz International, Procter & Gamble et Mars, Inc., occupent aussi chaque année des places dans le top 10. Coca-Cola conserve systématiquement la première position, et cette année, l'entreprise a même atteint un record avec 33 820 déchets plastiques recensés, le plus grand volume depuis le début du projet. En 2023, fait marquant, PepsiCo a surpassé Coca-Cola en tant que premier générateur de déchets plastiques de marque. Cependant, selon la méthodologie¹⁴⁸ qui inclut le nombre de pays

148 En 2023, l'initiative Brand Audit a mobilisé 8 804 bénévoles issus de 97 organisations, répartis dans 41 pays. Ensemble, ils ont mené 250 opérations de collecte et analysé 537 719 déchets plastiques. Chaque objet ramassé a été examiné afin d'identifier la marque et l'entreprise responsable, ce qui a permis de répertorier 6 858 marques liées à 3 810 sociétés mères. Cette démarche participative vise à mettre en évidence les entreprises les plus fréquemment associées à la pollution plastique. Toutefois, les données recueillies ne représentent qu'un échantillon partiel et ne peuvent refléter l'ensemble de la pollution plastique mondiale. Éléments issus de : <https://www.plasticpollutioncoalition.org/resource-library/bffp-2023-brand-audit-report>

affectés, Coca-Cola reste le principal pollueur, ses déchets ayant été identifiés dans 40 pays contre 30 pour PepsiCo.

Le rapport de Greenpeace « Urgence climatique : le grand déballage » (2021), met en lumière le rôle des grandes entreprises de produits de grande consommation (PGC) comme Coca-Cola, Nestlé et PepsiCo dans l'accroissement de la production de plastique, et détaille les relations étroites qu'elles entretiennent avec l'industrie pétrochimique. Ces entreprises, principales consommatrices de plastique vierge pour leurs emballages à usage unique, contribuent de manière significative à la demande mondiale, stimulant ainsi l'expansion de la production plastique au détriment du climat et des écosystèmes mondiaux. Les entreprises de PGC exercent une influence notable par leurs efforts de lobbying conjoint avec les acteurs du secteur pétrolier et gazier (Greenpeace, 2021), tout en limitant la transparence quant aux émissions de gaz à effet de serre (GES) imputables à leurs emballages jetables (Greenpeace, 2021).

Les coopérations commerciales et industrielles entre les géants des PGC et les producteurs de résines plastiques s'intensifient, exacerbant la crise plastique. Par exemple, Coca-Cola a généré près de trois millions de tonnes de plastique en 2019, avec des émissions associées de CO₂ dépassant les 14 millions de tonnes¹⁴⁹. Ces grandes marques de consommation, qui se fournissent en plastique auprès de producteurs comme ExxonMobil, Shell et Dow, continuent d'alimenter une dynamique industrielle concentrée sur le plastique vierge. Selon le rapport, les cinq principaux producteurs de polymères pour plastiques à usage unique prévoient une hausse de production de 30 % entre 2020 et 2025, soulignant la collaboration croissante entre les entreprises pétrochimiques et les PGC pour répondre à une demande en forte augmentation dans des régions comme l'Inde et l'Asie du Sud-Est.

Alors que ces entreprises affichent publiquement des engagements en matière de réduction des plastiques, l'analyse révèle un manque de progrès concret. En effet, un rapport de la Fondation Ellen MacArthur en 2020 (Fondation Ellen MacArthur, 2020) a constaté que les efforts de réduction de l'usage de plastique n'ont guère avancé : l'utilisation de plastique par ces entreprises a même légèrement augmenté de 0,6 % en 2019, et la part d'emballages réutilisables demeure marginale, à seulement 1,9 % de l'ensemble des emballages. Ces résultats questionnent l'efficacité des promesses publiques de ces entreprises face à une pression croissante des consommateurs et des régulateurs.

L'impact de ces coopérations industrielles va donc bien au-delà d'une simple question de logistique de fourniture : il constitue un véritable moteur pour l'expansion des activités des producteurs de plastique. La production continue d'augmenter, alimentée par des acteurs de l'industrie pétrochimique tels qu'Exxon et Shell qui, avec le soutien de leurs clients de la grande consommation, perpétuent un modèle économique dépendant du plastique jetable, malgré ses effets délétères sur l'environnement et le climat (Greenpeace, 2021).

Metteurs sur le marché français, le cas des emballages plastiques alimentaires

En France, les choix opérés par les metteurs sur le marché d'emballages plastiques pour les produits alimentaires oscillent entre l'utilisation devenue centrale du plastique pour ses avantages techniques, et les contraintes croissantes de recyclage et d'écoconception imposées par les réglementations. Le plastique est omniprésent dans la chaîne de production des entreprises de l'industrie alimentaire,

149 https://www.lemonde.fr/planete/article/2021/10/25/coca-cola-champion-du-monde-de-la-pollution-plastique_6099763_3244.html consulté en septembre 2025

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

comme le démontre l'exemple de Fleury Michon : « aujourd'hui, on ne sait plus faire nos produits sans les matières plastiques » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022), dont les procédés de fabrication sont entièrement basés sur les avantages de ce matériau. En effet, le plastique permet d'assurer une résistance à l'humidité et d'offrir une longue conservation des produits, notamment lors de la pasteurisation, qui implique de maintenir l'emballage à 90°C pendant 1h30 (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). Ces propriétés essentielles au mode de consommation actuel ne sont pas égalées par d'autres matériaux tels que le carton ou le papier, qui ne répondent pas aux exigences de conservation et de sécurité nécessaires dans le secteur alimentaire.

La réglementation et les attentes des consommateurs poussent de plus en plus les metteurs sur le marché à aller vers la commercialisation d'emballages qui commencent à être écoconçus. Les metteurs sur le marché collaborent avec les plasturgistes pour avancer dans ce domaine : « on attend beaucoup de nos fournisseurs (plasturgistes) et, depuis un an, ils bougent en faisant de la R&D. Nous, on n'est rien sans eux » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). L'objectif de l'écoconception est ici de permettre aux emballages d'être recyclés en fin de cycle de vie, en intégrant dès leur conception des choix de matériaux favorisant leur réintroduction dans la boucle du recyclage. L'écoconception dans l'emballage alimentaire implique plusieurs stratégies, comme la réduction de l'épaisseur des emballages afin de réduire la consommation de matières premières, le passage au monocouche afin de faciliter leur recyclage, l'utilisation de matériaux alternatifs pour diminuer l'utilisation de plastiques non recyclable, ou la limitation du suremballage afin de réduire la production de déchets. Cependant, les efforts pour développer des emballages plus durables se heurtent à plusieurs obstacles. S'il est vrai que les contraintes de sécurité alimentaire jouent un rôle majeur - en particulier lorsqu'il s'agit d'incorporer du plastique recyclé, dont l'usage est limité par le contact direct avec les aliments : « notre problème c'est le contact alimentaire » (entretien, R&D Packaging Manager, Marie SAS groupe LDC, 2022) - il serait réducteur d'expliquer les choix d'emballage uniquement par cet aspect. En réalité, d'autres facteurs, économiques et marketing, pèsent tout autant dans la balance. Le plastique reste privilégié non seulement pour ses propriétés de conservation, « on a besoin de matériau plastique pour la conservation des produits alimentaires » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022), mais aussi parce qu'il est plus compétitif que d'autres matériaux : « Le plastique est choisi pour ses propriétés, mais aussi, car son tarif est moins élevé que le papier, par exemple » (entretien, Chargé de Projets Packaging, Europe snack, 2022). L'équation repose aussi sur une logique de volume et de prix, l'emballage devant permettre « de mettre beaucoup de produits sur le marché à bas prix pour la consommation courante » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). Les distributeurs, tels que les grandes et moyennes surfaces (GMS), renforcent cette logique en imposant leurs propres spécifications aux metteurs sur le marché afin de répondre à leurs intérêts marketing et commerciaux. Bien qu'ils interviennent en aval de la chaîne, ils orientent fortement les décisions d'emballage selon les préférences des consommateurs et les tendances réglementaires.

Les metteurs sur le marché surveillent également la manière dont leurs emballages sont traités dans les centres de tri et échangent régulièrement avec les acteurs de cette filière. Par exemple, certaines entreprises notent que « nos barquettes en bois sont rejetées lors du tri, et nos papillotes en PE sont trop légères et petites pour être captées par les machines » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). Toutefois, en l'absence d'alternatives économiques et techniques correspondant aux critères du moment, les entreprises productrices hésitent à modifier leur chaîne de production. En effet, de tels changements impliquent des investissements conséquents, ce qui freine la transition vers des matériaux alternatifs ou vers une modification des pratiques (systèmes de réemploi, par

exemple). L'action des metteurs sur le marché des emballages plastiques s'inscrit aussi dans un cadre réglementaire de plus en plus exigeant. L'introduction de quotas obligatoires de matière recyclée dans certains emballages, comme l'exigence de 25 % de plastique recyclé dans les bouteilles de boissons d'ici 2025, exerce une pression supplémentaire sur les entreprises pour se conformer à ces obligations. Ces contraintes incitent les acteurs du marché à accélérer leurs initiatives d'écoconception pour se conformer aux réglementations. Mais ces démarches se heurtent à des contraintes techniques et économiques. Le recours aux mono-matériaux, plus facilement recyclables, entraîne souvent une augmentation du poids des emballages (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). La réduction des épaisseurs a déjà atteint un seuil critique : « on a réduit toutes les épaisseurs de l'emballage, on ne peut pas aller plus loin » (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022), au risque de donner une impression « cheap » au consommateur (entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). De plus, l'intégration d'une proportion croissante de plastique recyclé dans les emballages accentue des difficultés d'approvisionnement : « aujourd'hui il y a une demande tellement forte pour trouver de la matière recyclée on a du mal à en fournir » (entretien avec un négociant de matières, Veolia, 2022). Certaines résines, comme le polypropylène, largement utilisées dans l'alimentaire, sont particulièrement concernées par cette tension : « il y a forcément de très très grosses demandes autour du polypro » (entretien avec un négociant de matières, Veolia, 2022). Les metteurs sur le marché dépendent de filières de recyclage encore insuffisamment dimensionnées (entretien avec un ingénieur emballage, Ligépack, 2022), ce qui en fait l'un des principaux points de blocage pour la transition vers des emballages plus écoconçus.

Citeo, joue un rôle central dans la mise en articulation des différentes contraintes évoquées jusqu'ici, en mettant en place un système d'éco-modulation qui repose sur des bonus et des malus afin d'encourager l'écoconception des emballages ménagers. Le malus correspond à une majoration de l'éco-contribution de base, calculée en fonction de la masse et du matériau de l'emballage. Il s'applique lorsque l'emballage présente des caractéristiques qui perturbent les processus de tri et de recyclage ou lorsque l'emballage est non recyclable. Trois niveaux de malus existent : 10 %, 50 % et 100 %. Ces taux s'ajoutent directement au tarif de l'emballage concerné et sont révisés chaque année en concertation avec les pouvoirs publics, lors de la définition du barème des emballages ménagers (Citeo, 2023). Le principe est progressif : un emballage peut être soumis à un malus plus faible dans un premier temps, avant d'évoluer vers un niveau plus élevé (10 % de malus la première année, 50 % pour l'année n+1 à n+3 et 100 % pour l'année n+2 à n+5 (Citeo, 2023)), ce qui laisse aux metteurs sur le marché un délai pour adapter leurs emballages. La déclaration des malus relève de la responsabilité des metteurs sur le marché, qui doivent renseigner, pour chaque Unité de Vente Consommateur (UVC)¹⁵⁰, si l'emballage est concerné par un malus. Toutefois, cette incitation économique est perçue avec méfiance par les industriels, qui pointent une augmentation continue des tarifs et doutent de l'efficacité du mécanisme. En effet, les contributions versées ont fortement augmenté ces dernières années : elles ont doublé en cinq ans pour atteindre 1,6 milliard d'euros en 2025, et pourraient dépasser les 2 milliards d'euros

150 « L'UVC (Unité de Vente Consommateur) désigne le conditionnement élémentaire d'un produit destiné à être vendu directement au consommateur final. Elle représente l'unité minimale que l'on peut acheter individuellement.

Par exemple, une bouteille d'eau, une boîte de conserve ou un paquet de gâteaux constituent chacun une UVC. (...) L'Unité de Vente Consommateur joue un rôle clé dans la gestion des produits destinés au consommateur final. Elle permet de quantifier précisément le nombre d'articles tels qu'ils sont mis à disposition à la vente. » [https://akanea.com/logistique/glossaire/definition-uvc/#:~:text=Qu'est %2Dce %20que %20l,on %20peut %20acheter %20individuellement](https://akanea.com/logistique/glossaire/definition-uvc/#:~:text=Qu'est%20ce%20que%20l,on%20peut%20acheter%20individuellement). Consulté en septembre 2025.

dès 2026¹⁵¹. Citeo lui-même alerte sur cette « impasse financière », en expliquant que cette hausse découle de l'inflation des coûts de collecte, de tri, d'énergie et de transport, mais aussi du durcissement du cahier des charges fixé par l'État¹⁵². Les industriels, de leur côté, dénoncent une charge financière de plus en plus lourde, d'autant que ces contributions s'ajoutent aux investissements nécessaires pour adapter leurs emballages aux critères d'écoconception (entretien, Chargé de Projets Packaging, Europe snack, 2022 ; entretien, R&D Packaging Manager, Marie SAS groupe LDC, 2022 ; entretien, ingénieur emballage, Ligépack, 2022 ; entretien, ingénieur packaging, Fleury Michon, 2022). Par ailleurs, les résultats environnementaux apparaissent en décalage avec l'ampleur des efforts financiers consentis. Malgré des écocontributions versées depuis près de trente ans, le taux de recyclage global des plastiques progresse peu : « ça fait depuis 1992 qu'Eco-emballage et maintenant, Citeo existe, donc ça fait pratiquement 30 ans que les entreprises payent une écocontribution auprès de cet organisme et, aujourd'hui on nous dit que les emballages sont peu ou pas recyclés » (entretien, ingénieur emballage, Ligépack, 2022). Cette situation met à mal les relations entre l'éco-organisme et certains metteurs en marché, qui estiment ne pas avoir obtenu les résultats attendus malgré leur participation financière et leur engagement de longue durée : « on leur faisait confiance en leur disant on vous donne notre écocontribution, développez la filière, c'est-à-dire développez les gens qui vont collecter, des gens qui vont trier, des gens qui vont recycler. Développez la R&D pour trouver une nouvelle façon de traiter cette matière-là et trouver des débouchés. Et puis, finalement on se rend compte qu'au bout de 30 ans, la seule chose qu'on sait bien recycler c'est la bouteille d'eau claire en PET » (entretien, ingénieur emballage, Ligépack, 2022). En conséquence, la confiance initialement placée dans l'éco-organisme s'est érodée, les entreprises percevant un décalage entre les sommes investies et les résultats concrets obtenus en matière de développement de filières et de performances de recyclage.

Ainsi, la mise en marché des emballages repose sur une collaboration parfois coordonnée, parfois non, entre les producteurs de plastiques, les éco-organismes, les metteurs sur le marché, les distributeurs et les trieurs de déchets. Chaque acteur influence les décisions des metteurs sur le marché, que ce soit par des contraintes réglementaires, des incitations financières ou des besoins techniques, ce qui permet à ces derniers de souvent se dédouaner sur le voisin dans l'efficacité très relative de la REP emballages depuis plus de 30 ans d'existence.

Organisation collective des acteurs des emballages plastiques

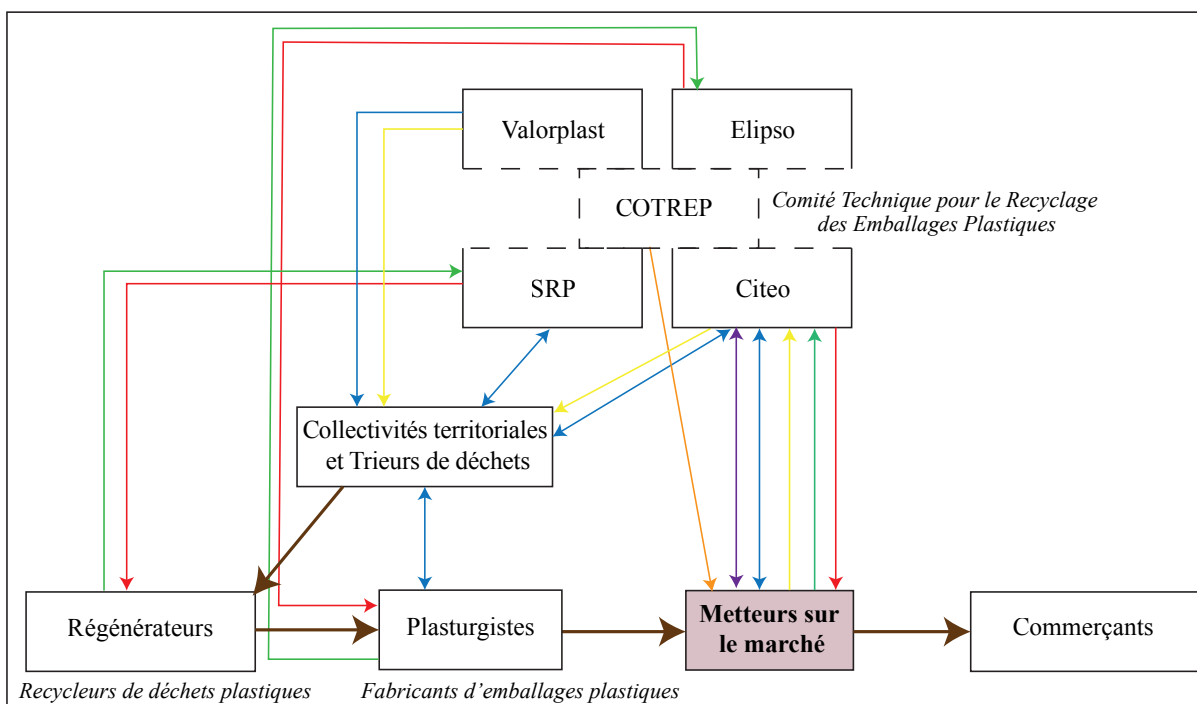
Afin de mieux articuler les contraintes et les visions de chaque acteur, le COTREP (Comité Technique pour le Recyclage des Emballages Plastiques) a été créé en 2001 entre les acteurs du domaine afin d'« accompagner les industriels dans le développement de solutions d'emballages plastiques recyclables en France »¹⁵³. Bien qu'il soit davantage un organisme technique qu'une organisation professionnelle à proprement parler, le COTREP regroupe les producteurs de plastique vierge, les fabricants d'emballages, des metteurs en marché ainsi que les régénérateurs de plastique, pour travailler sur l'écoconception des emballages plastiques et leur recyclabilité. Il fournit des recommandations aux metteurs sur le marché afin d'améliorer la gestion de fin de vie de leurs

151 <https://www.usinenouvelle.com/article/deux-milliards-d-euros-pour-la-rep-des-emballages-menagers-attention-danger.N2232358?utm> consulté en septembre 2025

152 <https://www.emballagedigest.fr/financement-de-la-rep-emballages-menagers-citeo-tire-la-sonnette-dalarme/?utm> consulté en septembre 2025

153 <https://www.cotrep.fr/qui-sommes-nous/> consulté en septembre 2025

produits. Le COTREP a par exemple travaillé sur des guides d'écoconception des tubes, pots et barquettes en plastique¹⁵⁴ ou encore des protocoles tests sur de nouveaux emballages : « on a une veille sur les nouveaux emballages qui vont arriver, sur les nouvelles résines et on va venir les tester pour voir si elles sont compatibles avec les filières de recyclages déjà en place. Là-dessus, c'est vraiment les filières de recyclages actuelles et à échelles industrielles. On se base sur ce qui existe pour émettre nos recommandations » (entretien, ingénieure, COTREP, 2022). Au sein du COTREP, les fabricants d'emballages sont représentés à travers une autre organisation professionnelle : ELIPSO, qui représente leurs intérêts collectifs auprès des pouvoirs publics. Cette structure participe par exemple aux discussions sur les réglementations, défend leurs intérêts et facilite les échanges d'informations entre les entreprises, les institutions et les autres parties prenantes de la filière (cf. figure 37).



Légende :

- | | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| <i>Relations fonctionnelles</i> | <i>Jeux d'acteurs</i> | <i>Flux de matières plastiques</i> |
| → Études techniques | → Défense des intérêts | → Plastiques |
| → Financement | → Tensions | |
| → Mandate | → Communication | |

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 37: Les jeux d'acteurs des metteurs sur le marché français d'emballages plastiques

La circularité des plastiques vue par les metteurs en marché : d'une contrainte réglementaire à une dynamique collective

La transition vers la circularité des plastiques, telle qu'elle est perçue par les metteurs en marché (interrogés), n'est pas le fruit d'un mouvement spontané ni d'une conviction initiale, mais bien d'un cadre réglementaire qui impose un changement de pratiques : « avant les réglementations

154 <https://www.cotrep.fr/etude-technique/#studies> consulté en septembre 2025

sur les plastiques tout le monde travaillait dans son coin » (entretien, R&D Packaging Manager, Marie SAS groupe LDC, 2022). Particulièrement, avant la loi AGEC de 2020, chaque acteur de la chaîne de valeur des plastiques était cloisonné sur son segment, développant principalement des relations commerciales avec les autres acteurs. La réglementation, en poussant vers plus de recyclabilité et de réemploi, a eu un effet secondaire : celui de rapprocher les acteurs de la chaîne de valeur. Les metteurs en marché commencent alors à se tourner vers les acteurs du recyclage et du tri : « À la base on ne connaît pas les métiers du recyclage, du centre de tri » (entretien, R&D Packaging Manager, Marie SAS groupe LDC, 2022), afin de comprendre comment leurs emballages se comportent une fois devenus déchets. Cette mise en mouvement passe également par une redéfinition des relations avec les fournisseurs d'emballages (plasturgistes) : « On attend beaucoup de nos fournisseurs d'emballage, ils bougent, du coup, la R&D bouge » (entretien, R&D Packaging Manager, Marie SAS groupe LDC, 2022). Ces propos révèlent une dépendance entre acteurs pour se mettre en action. Pour ces acteurs, la circularité des matières plastiques n'est pas une affaire isolée, mais une co-construction entre acteurs de la filière où la contrainte réglementaire commence à se traduire dans des pratiques technique et organisationnelle. Ces changements intègre aussi les distributeurs, qui, en orientant leurs stratégies de vente, influencent directement la demande et les solutions à développées par les metteurs sur le marché et leurs fournisseurs. Ainsi, certains supermarchés, en favorisant le vrac ou en expérimentant des modèles de réemploi, deviennent des catalyseurs de changement. D'autres acteurs, comme les épiceries vrac, vont plus loin encore en faisant du réemploi leur modèle économique central.

Ainsi, la circularité des plastiques, vécue par les metteurs en marché, s'inscrit dans un mouvement contraint, mais collaboratif. La réglementation joue un rôle crucial, mais ce sont les interactions entre plasturgistes, metteurs en marché, distributeurs et consommateurs qui donnent corps à une circularité qui, hier encore, n'était pas envisagée.

Une société civile autant consommatrice qu'actrice de changement ?

Les plastiques cristallisent aujourd'hui l'attention de nombreux acteurs de la société civile, incluant des entreprises privées, des associations environnementales et des citoyens, consommateurs de plastique.

Une consommation responsable des plastiques, est-elle possible ?

Comme nous l'avons montré au chapitre 1, les plastiques sont présents dans l'ensemble des secteurs économiques et occupent donc une place omniprésente dans la vie quotidienne de chacun. Cette ubiquité rend souvent difficile la remise en question des habitudes de consommation, tant leur usage est devenu naturel et pratique au quotidien : « c'est toujours plus facile d'aller vers l'usage unique, car le réemploi demande beaucoup aux consommateurs » (observation terrain, membre Zero Waste France, salon du vrac et du réemploi, 2023). En effet, le recours à des alternatives réutilisables et réemployables suppose un effort supplémentaire en termes de temps, d'organisation et parfois de coût, ce qui limite leur adoption à grande échelle et, par conséquent, freine également leur accessibilité pour les consommateurs (Northen *et al.*, 2023). Pour autant, les choix quotidiens des consommateurs conservent un rôle important et font pleinement partie d'un des piliers de l'économie circulaire : la « consommation responsable », cinquième pilier tel que

défini par l'Ademe¹⁵⁵. Selon celle-ci, « faire le choix d'une consommation plus responsable, c'est faire des choix qui intègrent les conséquences de son achat, ou non-achat, sur l'environnement, la santé et la société. En prenant en compte la partie "cachée", au-delà de l'achat du produit (la fabrication, l'utilisation, le déchet), chacun peut, à son échelle et à la mesure de ses moyens, consommer mieux en adaptant ou en modifiant ses habitudes. Consommer plus responsable contribue ainsi à faire évoluer les modes de production et de consommation pour optimiser les bénéfices individuels et collectifs »¹⁵⁶. Dans ce cadre, les comportements individuels, même modestes, peuvent avoir un effet cumulatif significatif : « si les gens réduisent leurs achats et leur utilisation d'objets en plastique, ils pourraient en partie alléger la pression environnementale liée au plastique, accompagnant la transition industrielle sans produire de pollution supplémentaire. Cela peut se faire, par exemple, en remplaçant les objets en plastique à usage unique par des objets réutilisables, en évitant d'acheter des produits avec plusieurs emballages ou en choisissant des articles sans emballage du tout¹⁵⁷ » (Cavaliere et al., 2020). Cavaliere et al., 2020, ont par ailleurs démontré que plus les consommateurs sont informés sur la pollution plastique et ses effets néfastes sur la santé, plus ils sont susceptibles d'éviter d'acheter des objets et des emballages en plastique à usage unique. Cette tendance s'accompagne d'une multiplication des initiatives de sensibilisation, notamment à travers la publication, ces dernières années, de nombreux ouvrages destinés au grand public et proposant des conseils pratiques pour une consommation sans plastique (« Se libérer du plastique : 100 astuces simples et efficaces pour préserver la planète », Jones, 2019 ; « Zéro plastique on s'y met!, Imbault, 2019 ; « En finir avec le plastique, pour un monde sans plastique à la maison comme à l'horizon », McCallum, 2019, « Zéro plastique dans nos océans : comment passer à l'action, Ianniello, 2019, etc.).

Cependant, les choix d'usage des plastiques dépendent à la fois de choix individuels, mais aussi de décisions plus systémiques : « si certaines utilisations du plastique nous appartiennent en tant qu'individus, par exemple, le choix d'utiliser ou non un sac en plastique, de grandes quantités de plastique sont produites et utilisées chaque année au profit de la société, comme les canalisations d'eau municipales en plastique, auquel cas nos choix individuels sont limités¹⁵⁸ » (Bucknall, 2020). Ainsi, la responsabilité individuelle, bien qu'importante, ne peut pas à elle seule réduire la dépendance globale au plastique. Les solutions doivent également être recherchées au niveau collectif. D'ailleurs, comme le souligne Northen et al., (2023), les consommateurs ne se sentent pas « entièrement responsables de leurs comportements d'achat »¹⁵⁹ et considèrent que les fabricants, metteurs sur le marché et distributeurs ont un rôle déterminant à jouer dans la transition. Cette perspective met en évidence

155 <https://economie-circulaire.Ademe.fr/economie-circulaire#en-savoir-plus-sur-l-%E2%80%99-%C3%A9conomie-circulaire> consulté en septembre 2025

156 <https://economie-circulaire.Ademe.fr/adopter-une-consommation-plus-responsable-concept-et-enjeux#qu-%E2%80%99est-ce-qu-%E2%80%99une-consommation-plus-responsable-%E2%80%AFet-plus-sobre-> consulté en septembre 2025

157 Traduit de l'anglais : « If people diminish their purchase and usage of plastic objects, they could partly alleviate plastic-related environmental pressure, accompanying the industrial transition without producing further pollution. This can be done, for instance, by replacing single-use plastic objects with reusable ones, avoiding purchasing products with multiple packaging, or choosing items with no packaging at all. »

158 Traduit de l'anglais : « While some of the uses of plastics are up to us as individuals, e.g. choosing to use a plastic shopping bag or not, large volumes of plastics are produced and used annually for the benefit of society, such as municipal plastic water pipes, in which case our individual choices are limited. »

159 Traduit de l'anglais : « they are not completely responsible for their purchase behaviours »

une limite fondamentale : tant que le plastique demeure « le matériau d'emballage et de produit le plus répandu »¹⁶⁰, il reste difficile, voire impossible, pour un individu de l'éviter totalement dans ses pratiques de consommation.

Une société civile opposante aux plastiques

La mobilisation de la société civile face à la pollution plastique se renforce, avec une organisation et un dynamisme croissant qui reflètent une prise de conscience collective de l'urgence environnementale. Comme le souligne Blot *et al.*, (2021), « où faudrait-il vivre pour ignorer la question de la dissémination des plastiques dans l'environnement ? ». Ce sujet, largement abordé dans les médias ces dernières années, est fréquemment accompagné d'images saisissantes de la faune blessée par des plastiques ou de plages couvertes de déchets plastiques, entre autres. Cette situation a conduit à une mobilisation croissante des élus, des chercheurs et des organisations non gouvernementales. Cependant, du côté des producteurs de plastiques, des plasturgistes et des metteurs sur le marché, la responsabilité de la pollution plastique est souvent repoussée vers l'aval de la chaîne, en particulier sur la question de la gestion des déchets. Le discours dominant met en avant l'idée que la pollution ne découle pas intrinsèquement de la production ou de l'usage du plastique, mais d'un système de gestion des déchets jugé défaillant : « il se pose la question de la pollution des plastiques [...]. Surtout la question de qu'est-ce qu'il devient en fin de vie, comment on le recycle et comment on évite qu'il aille polluer l'environnement ? » (entretien, Directeur Développement durable, Polyvia, 2022). Pour ces acteurs, il ne s'agit pas de remettre en cause la production de plastique (qui est leur gagne-pain), mais de trouver les moyens de mieux en gérer la fin de vie, « tout le monde est d'accord, enfin, nous, industriels, on est d'accord pour dire, il faut une meilleure gestion des déchets plastiques et cette meilleure gestion des déchets plastiques va permettre de diminuer la pollution plastique [...]. Ne tombant pas dans un manichéisme dur qui est de dire que, pour éviter la pollution plastique, il faut éliminer les plastiques » (entretien, directeur RSE, Knauf Industrie, 2023). Dans cette logique, la responsabilité de la pollution plastique est largement déplacée vers les comportements individuels et la gestion des déchets : « en tant qu'industrie de la plasturgie on n'est pas responsable des déchets plastiques sauvages » (entretien, directeur adjoint R&D, IPC, 2022). Ces discours semblent jouer sur l'idée que la résolution des problèmes environnementaux liés aux plastiques est entre les mains des citoyens, alors même que le déchet est déjà en devenir et que son impact est dès le départ programmé : « il faut que les gens prennent conscience de cette pollution, mais ils ne le peuvent pas tant qu'on les martèle uniquement sur le recyclage des plastiques, en leur disant que c'est la solution. Sauf que le tri c'est déjà trop tard, le déchet est là » (entretien, membre d'un groupe local ZeroWaste, 2023). De plus, ces entreprises reconnaissent certes « qu'il y a un problème » (entretien, membre d'un groupe local ZeroWaste, 2023), mais leur solution se limite souvent à une amélioration technique progressive, sans transformation de fond (entretien, membre d'un groupe local ZeroWaste, 2023). Cette approche permet aux acteurs de la production et l'utilisation du plastique en place de perpétuer leurs pratiques en ne le remettant en cause qu'à la marge (en faisant un peu d'écoconception ou en finançant légèrement le recyclage, mais sans modifier les types d'emballage ou leur caractère jetable).

Cette situation s'inscrit dans un cadre plus large où « le déchet cesse d'être perçu comme un rebut », pour devenir un objet doté de valeurs et de potentialités nouvelles (Cirelli & *al.*, 2022).

¹⁶⁰ Traduit de l'anglais : « As plastic remains as the most prevalent packaging and product material, it is difficult for consumers to avoid it. »

Les déchets ne sont plus seulement considérés comme des résidus dont il faut se débarrasser ; ils deviennent un secteur d'investissement et de valorisation. Les collectifs et individus investis dans la gestion et la réduction des déchets revendiquent aujourd'hui une place essentielle dans la prise de décision en matière de gestion des déchets, ce qui politise une question jusque-là pensée de manière purement technique et bureaucratique. Par leurs actions, ils remettent en question les politiques en place, en soulignant qu'elles ne sont pas adaptées à une transformation sociale et écologique effective (Cirelli & *al.*, 2022).

Ainsi, la question des déchets est révélatrice d'une interrogation plus large sur le modèle de développement économique actuel et ses limites, fondées sur une production et une consommation de masse (Cirelli & *al.*, 2022). Elle ouvre la voie à une réflexion essentielle sur les alternatives possibles, sur les moyens d'opérationnaliser une véritable transformation sociale au-delà de la simple amélioration technique. En se positionnant pour des changements structurels, ces collectifs appellent à une réévaluation des relations de pouvoir et des responsabilités, en suggérant que les citoyens ne doivent pas seulement trier les déchets, mais aussi avoir un droit de regard et d'action sur les systèmes de production et les politiques de gestion des ressources.

Dans ce contexte, l'engagement citoyen ne se limite pas à des actions individuelles : en France, de nombreuses associations traduisent cette volonté de participation active en initiatives concrètes pour lutter contre la pollution plastique. Zero Waste France, par exemple, milite activement pour la réduction des déchets plastiques en encourageant par exemple l'interdiction de produits à usage unique, en incitant les collectivités locales à la réduction de ces plastiques sur leurs territoires, et en soutenant le développement de solutions de réemploi¹⁶¹. L'association a notamment contribué à la création d'un réseau structurant : le Réseau Vrac & Réemploi¹⁶², qui fédère les acteurs de la filière afin de relancer la consigne pour réemploi et le vrac en France (collectivités, producteurs, distributeurs, commerçants, entreprises du lavage et du réemploi) ; « sur les initiatives de réduction des déchets, on est plus fort si on est plusieurs » (observation terrain, restaurateur, salon du vrac et du réemploi, 2023). Elle mène également des actions de plaidoyer auprès des pouvoirs publics et des entreprises, notamment à travers sa campagne visant à limiter les emballages jetables dans la restauration rapide et à imposer la transition vers de la vaisselle lavable et réemployable, en application de la loi Agec : « Il y a beaucoup de lois environnementales, mais elles ne sont pas toutes respectées. Il faut veiller au grain et être lanceur d'alerte » (observation terrain, membre Zero Waste France, salon du vrac et du réemploi, 2023). No Plastic In My Sea œuvre surtout sur la sensibilisation du grand public, en menant des campagnes d'information sur l'impact des plastiques et en organisant des ateliers pédagogiques dans les écoles¹⁶³. Surfrider Foundation Europe, quant à elle, mobilise les citoyens à travers ses opérations de collectes de déchets sur les plages, rivières et fonds marins¹⁶⁴, et exerce des plaidoyers auprès des pouvoirs publics et des acteurs économiques pour réduire la pollution plastique à la source¹⁶⁵. Enfin, la Fondation Tara Océan s'engage via ses expéditions scientifiques, qui permettent d'analyser la pollution plastique dans les océans, et relaie

161 <https://www.zerowastefrance.org/en/project/stop-to-single-use-plastic/> consulté en septembre 2025

162 <https://reseauvracetreemploi.org/reseau-consigne/> consulté en septembre 2025

163 <https://noplasticinmysea.org/participez/> consulté en septembre 2025

164 <https://www.surfrider.eu/our-missions/marine-litter/ocean-initiatives/> consulté en septembre 2025

165 <https://www.surfrider.eu/our-missions/political-advocacy/> consulté en septembre 2025

ses résultats pour interpeller les décideurs politiques et sensibiliser le grand public à l'urgence d'agir contre la pollution plastique océanique¹⁶⁶.

Ces associations se sont également impliquées dans les négociations du traité mondial contre la pollution plastique, lancées par l'ONU en 2022. Les différentes sessions de négociation se sont déroulées entre 2022 et 2025, depuis la première session INC-1 (Intergovernmental Negotiating Committee - Session 1) à Punta del Este en Uruguay, jusqu'à la cinquième session INC-5 à Genève, en août 2025. Elles y ont participé activement, en étant présentes aux sessions, en soumettant des recommandations et en menant des actions de plaidoyer parallèles, afin de défendre l'adoption d'un traité ambitieux et juridiquement contraignant ; « sur le sujet du traité nous ce que l'on souhaite c'est la réduction de la production de plastique » (observation terrain, membre Zero Waste France, salon du vrac et du réemploi, 2023).

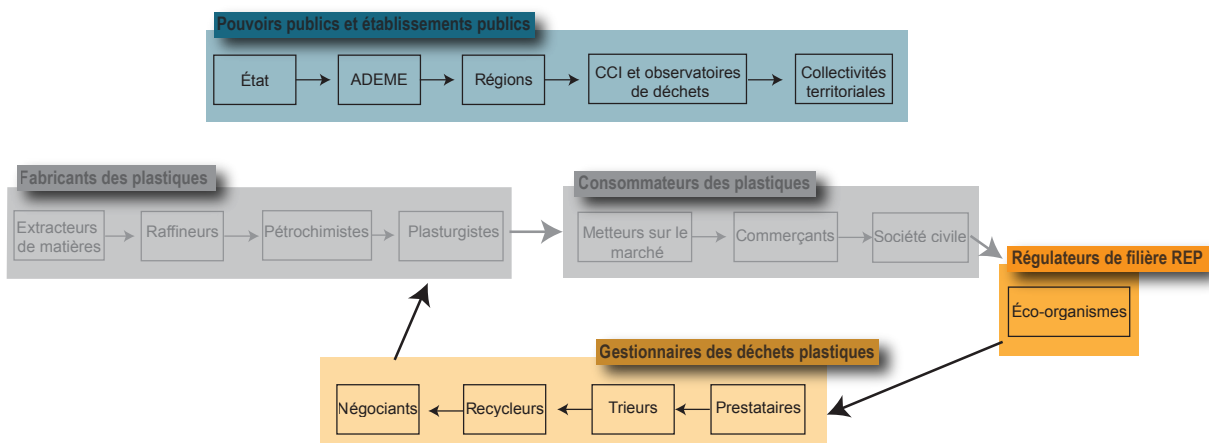
Gestion des déchets : des acteurs au cœur du système, mais aux marges de manœuvre limitées

Cette dernière catégorie d'acteurs (*cf.* figure 38) intervenants dans le métabolisme du plastique inclut les pouvoirs publics et les établissements publics de type Ademe, CCI, régions, observatoires régionaux de déchets, qui jouent un rôle essentiel dans la régulation et l'encadrement des pratiques de gestion des déchets. S'y ajoutent également les éco-organismes, entités de droit privé, mais dont l'action est encadrée par un agrément ministériel, responsables de la mise en œuvre des filières de responsabilité élargie des producteurs, ainsi que les acteurs opérationnels (publics et privés) directement engagés dans les activités de collecte, de tri et de recyclage des déchets plastiques. En réunissant ces différentes entités, nous mettons en évidence l'importance de la collaboration de l'ensemble des acteurs dans la gestion des déchets plastiques, de leur collecte initiale jusqu'à leur traitement final. Cette collaboration repose sur des interactions commerciales, où le plastique, en tant que matière « ressource », circule d'un acteur à l'autre, mais de tensions réglementaires et politiques où chacun agit selon ses préoccupations propres. Les acteurs impliqués - entreprises de collecte, structures de tri, recycleurs, et autres partenaires (éco-organismes, collectivités territoriales, négociants de matières) - participent ainsi à une chaîne de valeur au sein de laquelle la matière plastique est tour à tour achetée et vendue. Cette dynamique, où la matière circule au centre des échanges entre acteurs, est loin d'être dénuée de tensions ; au contraire, elle est marquée par des rapports de force. Comme l'indiquent Cirelli et Maccaglia (Cirelli & Maccaglia, 2022), « derrière les processus industriels et l'organisation quotidienne d'un service se dessinent des rapports de force qui influencent les choix techniques et technologiques : le déchet incarne intrinsèquement ces rapports de pouvoir, car il représente un enjeu en soi ». Ainsi, face à ces rapports de force structurels, nous verrons que les collectivités locales, tout comme les entreprises chargées de la gestion des déchets, disposent de marges de manœuvre limitées concernant la circulation des plastiques. Elles n'ont en effet que peu d'influence sur les types de plastiques mis en circulation, car les décisions concernant la production, la commercialisation et même la composition des plastiques sont prises à un niveau souvent au-delà de leur portée. Les flux de matières plastiques sont largement mondialisés, ce qui signifie que, même si ces collectivités et entreprises assument des responsabilités de collecte et de tri, elles n'ont que peu d'emprise sur

¹⁶⁶ <https://fondationtaraocean.org/champs-de-recherche/biodiversite-marine-pollution/> consulté en septembre 2025

les caractéristiques techniques des plastiques qu'elles manipulent. Le choix des résines, additifs, ou encore la durabilité de certains produits dépend de décisions prises par les industriels/ producteurs en fonction de normes internationales et de stratégies de marché globales. Ce manque de contrôle local complique l'organisation des filières de traitement, qui doivent s'adapter à des matériaux dont la composition évolue sans coordination avec les capacités locales de tri et de traitement.

Dans ce contexte, les éco-organismes jouent un rôle central en France et en Europe, car ils disposent d'un levier d'action théoriquement puissant qu'est la modulation de l'écocontribution qu'ils perçoivent, leur permettant de stimuler ou de décourager l'usage de certaines résines. De plus, par le biais de l'accompagnement, voire de la contrainte, ils peuvent agir pour restreindre le nombre de résines plastiques en circulation et favoriser l'utilisation de polymères plus facilement recyclables. Plus récemment, les éco-organismes ont été contraints (loi AGEC de 2020) de mettre en place des fonds réemploi, destinés à promouvoir certains usages au détriment d'autres, dans une optique de réduction de la production de déchets non valorisables. Cependant, nous verrons que leur action reste partiellement contrainte par leur dépendance financière aux producteurs de matériaux (notamment d'emballages), qui sont eux-mêmes responsables de la mise sur le marché des plastiques.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 38 : Acteurs de la gestion des déchets

Les pouvoirs publics et établissements publics : une politique centrée sur le recyclage des déchets plastiques

La gestion des plastiques en France repose sur une stratégie qui reste dominée par une logique de recyclage en fin d'usage des plastiques, quand d'autres options pourraient (et légalement « devraient ») être mises en avant (tel le réemploi). Cette approche met en lumière une gouvernance structurée autour de plusieurs acteurs publics clés, où l'État, l'ADEME, les régions et les collectivités territoriales assument des rôles interdépendants pour assurer le développement des filières de recyclage. Nous verrons que l'État diffuse une politique nationale et mobilise des financements pour le développement du recyclage des plastiques, orientant les priorités via des plans stratégiques comme France 2030. L'ADEME, en tant qu'agence clé, apporte des financements pour soutenir les initiatives industrielles et territoriales. Les régions élaborent des plans plastiques régionaux, axés sur la coordination des

acteurs locaux et la transition vers une économie circulaire. Les Chambres de Commerce et d'Industrie (CCI) ainsi que les observatoires de déchets participent à l'analyse et au diagnostic des flux plastiques sur le territoire, tout en accompagnant les entreprises dans leurs démarches d'écologie industrielle et territoriale (EIT) ou d'écoconception. Enfin, les collectivités territoriales, directement en charge de la gestion des déchets, jouent un rôle opérationnel crucial, en organisant le tri, la collecte, et la valorisation des plastiques (soit en régie, soit sous forme de prestation ou délégation de service), tout en sensibilisant les citoyens.

L'État et l'Europe pour poser les objectifs

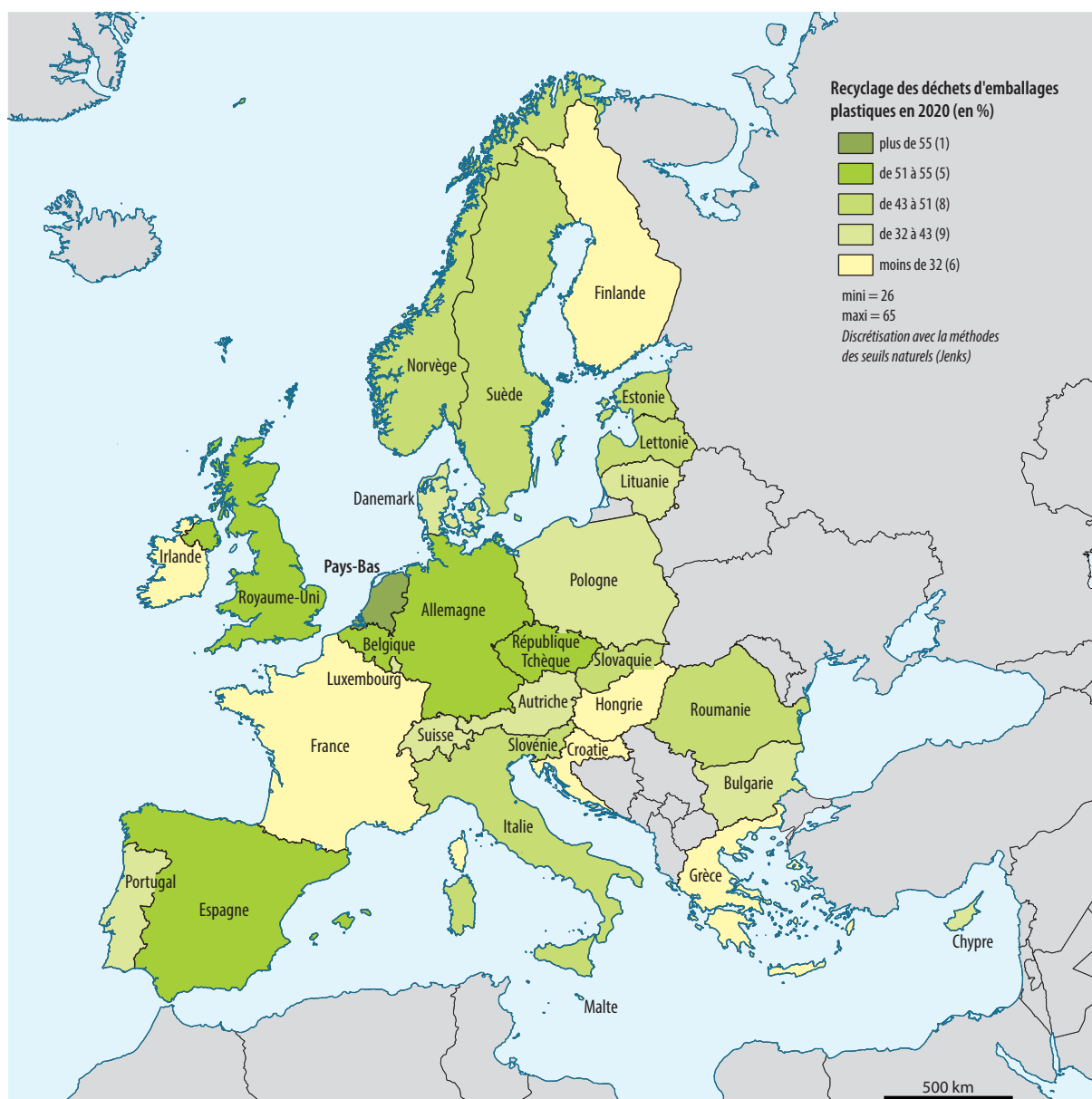
L'État français occupe une place de régulateur de l'usage des plastiques, à la fois par la définition d'objectifs réglementaires et par l'encadrement des filières de responsabilité élargie du producteur (REP). Comme présenté au chapitre 2, le cadre normatif s'articule sur deux niveaux : d'une part, les obligations européennes, et d'autre part, leur transposition et adaptation en droit français.

Au niveau national, la loi n° 2020-105 du 10 février 2020, dite « loi anti-gaspillage pour une économie circulaire » (AGEC), constitue le texte central de la régulation des plastiques en France. Cette loi établit plusieurs objectifs pour encadrer les flux plastiques, particulièrement les emballages à usage unique. Elle prévoit la fin de la mise sur le marché des emballages plastiques à usage unique d'ici 2040 ; pour ce faire, des objectifs de réduction, de réutilisation, de réemploi et de recyclage sont déclinés dans la stratégie nationale dite « 3R » (Réduire, Réemployer, Recycler) (Ministère de la transition écologique, 2022). Trois objectifs ont été fixés à l'horizon 2025 :

- « 20 % de réduction des emballages en plastique à usage unique d'ici fin 2025, dont au minimum la moitié obtenue par recours au réemploi et à la réutilisation ;
- Tendre vers une réduction de 100 % des emballages en plastique à usage unique inutiles d'ici fin 2025 ;
- Tendre vers 100 % de recyclage des emballages en plastique à usage unique d'ici le 1^{er} janvier 2025 » (Ministère de la transition écologique, 2022).

Toutefois, l'écart entre ces ambitions et la réalité demeure considérable : en France, le taux de recyclage des emballages plastiques est de 27 % en 2020 (*cf.* carte 7) et n'a pas progressé depuis ¹⁶⁷.

¹⁶⁷ Le taux de recyclage des emballages plastiques est toujours de 27 % en 2024 : <https://www.citeo.com/le-mag/les-chiffres-du-recyclage-en-france> consulté en octobre 2025



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université et S.ANGONNET, ESO-CNRS, Le Mans Université, 2025.
Source : Plastics Europe, Plastics - the facts 2022, 2022.

Carte 7 : Recyclage des déchets d'emballages plastiques par pays européen

La France figure parmi les pays européens affichant des taux relativement faibles de recyclage des emballages plastiques, inférieurs à 32 %. Elle accuse donc un retard notable par rapport à l'objectif ambitieux de 100 % d'emballages recyclés d'ici 2025 fixé par la loi AGEC, ainsi qu'à la cible européenne plus modérée de 50 % de recyclage des déchets d'emballages plastiques, prévue par le PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation). Certains pays voisins affichent des taux de recyclage bien plus élevés ; Pays-Bas (65 %), Allemagne (55 %), République tchèque (55 %), Belgique (54 %), Royaume-Uni (52 %) et Espagne (52 %) (Plastics Europe, 2022) et ont donc déjà atteint l'objectif européen. Toutefois, ces comparaisons doivent être nuancées. En effet, le calcul des taux de recyclage varie d'un pays à l'autre, car les paramètres retenus - sources de données, modalités de collecte et méthodologie de calcul - ne sont

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

pas harmonisés (Somlai, Bullock, Gallagher, 2023). Au-delà des différences statistiques, les disparités reposent aussi sur l'organisation des filières : « la difficulté est aussi qu'entre les pays nous n'avons pas les mêmes fonctionnements de centre de tri, d'usine de recyclage, ni même de système de collecte » (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022). Dès lors, le retard français ne peut être réduit à un simple écart chiffré : il traduit des limites structurelles en matière de collecte, d'écoconception et de développement des capacités de recyclage. Ces faiblesses constituent autant d'axes d'amélioration qui, s'ils sont renforcés, permettraient à la France de se rapprocher de ses objectifs (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022).

À travers la loi AGEC, l'État a également renforcé le rôle des filières de Responsabilité Élargie du Producteur (REP) en agissant notamment sur les écocontributions. Concrètement, cette loi renforce les obligations des metteurs sur le marché afin d'encourager l'écoconception des produits, en intégrant des critères de recyclabilité, l'utilisation de matières recyclées, ainsi que leur réparation et leur réemploi. Pour y parvenir, la loi AGEC a renforcé le mécanisme d'éco-modulation des contributions en rendant les primes et pénalités plus incitatives, puisqu'elles peuvent désormais représenter jusqu'à 20 % du prix du produit, et non plus seulement un simple doublement d'une contribution initialement trop faible pour être réellement dissuasive : « avant la loi AGEC, le malus portant sur une contribution pouvait conduire à doubler celle-ci. Mais, comme la contribution d'un producteur à la REP est en moyenne très faible (moins de 1 % du prix du produit), son doublement était peu pénalisant » (Vernier, 2024). Par ailleurs, la loi AGEC vise à harmoniser le fonctionnement des filières REP, qu'il s'agisse de l'organisation interne des éco-organismes, des obligations imposées aux acteurs économiques, du suivi des résultats ou encore de la transparence des données (Ademe, 2025). Afin de garantir l'efficacité de ces mesures, l'article 76 crée la Direction de la Supervision des filières REP (DSREP) instance de suivi et d'observation confiée à l'Ademe. Elle est ainsi chargée d'évaluer l'atteinte des objectifs fixés par l'État et de veiller à la bonne mise en œuvre de ces nouvelles dispositions (Ademe, 2025). Enfin, la loi AGEC a instaurée de nouvelles filières REP (*cf.* tableau 9).

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

Les filières REP françaises	
Date de délivrance du premier agrément ou du démarrage effectif des activités de l'éco-organisme	Filière
1993	Emballages ménagers Médicaments
2001	Piles et accumulateurs
2004	Pneumatiques
2006	Véhicules Équipements électriques et électroniques Papiers graphiques*
2007	Textiles
2012	Produits chimiques Dispositifs médicaux
2013	Ameublement
2019	Bateaux
Filières instaurées par la loi AGECE	
2021	Tabac
2022	Bâtiment Bricolage et jardin Jouets Huiles lubrifiantes Sport et loisirs
2024	Emballages professionnels de la restauration
2025	Emballages professionnels, industriels et commerciaux Textiles sanitaires à usage unique Engins de Pêche Gommes à mâcher** Aides techniques**

* « Fusion de la filière Papiers graphiques avec la filière des Emballages ménagers en 2024 » (Ademe, 2025)

** Filière pas encore effective, à l'état d'étude de préfiguration par l'Ademe

Source du tableau : Ademe, 2025

Tableau 9 : Chronologie des filières REP françaises

Les plastiques sont présents dans l'ensemble des filières REP, qu'il s'agisse des emballages, des jouets, des textiles, des peintures ou encore des meubles. Pourtant, les cahiers des charges qui encadrent ces filières accordent encore peu de place à des objectifs spécifiques pour ces matières (Vernier, 2024), ce qui réduit la portée réelle des dispositifs mis en œuvre. Les rares objectifs chiffrés concernent principalement le recyclage dans quelques filières ciblées : 65 % en 2026 et 70 % en 2028

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

pour les plastiques polyéthylène et polypropylène des véhicules hors d'usage, des objectifs appliqués également aux plastiques de mobilier (mousses de rembourrage et plastiques hors mousses), aux textiles (50 % en 2025 et 90 % en 2028), ainsi qu'au bâtiment (17 % en 2024 et 24 % en 2027) (Vernier, 2024).

Cette approche, centrée quasi exclusivement sur le recyclage, reste limitée. En effet, la loi AGEC a précisément pour ambition d'élargir le champ des objectifs des filières REP en y intégrant non seulement le recyclage, mais aussi la réduction de la production de déchets plastiques, le réemploi et la réparation. En négligeant ces dimensions, les cahiers des charges actuels peinent à exploiter pleinement le potentiel de transformation que porte la loi, et risquent de maintenir les plastiques dans une logique de fin d'usage plutôt que dans une véritable dynamique d'économie circulaire.

France 2030 comme levier d'accélération de la stratégie nationale d'accélération du recyclage

En octobre 2021, l'État français lance le Plan France 2030, un plan d'investissement massif qui vise à soutenir la transformation industrielle, écologique, et technologique de la France sur une période de huit ans. France 2030 prévoit d'allouer 54 milliards d'euros pour renforcer la souveraineté industrielle, stimuler l'innovation, et favoriser la transition écologique dans plusieurs secteurs, notamment l'énergie, les transports, l'agroalimentaire, la santé, et l'économie circulaire. C'est dans ce cadre qu'est développée la Stratégie Nationale d'Accélération du Recyclage, doté d'un budget total d'environ 700 millions d'euros. Le plan met également un accent particulier sur les technologies de pointe et la réindustrialisation de la France pour renforcer la compétitivité et réduire la dépendance vis-à-vis des importations. Ce programme est géré par divers ministères en collaboration avec l'Ademe et Bpifrance, qui supervisent les appels à projets et distribuent les fonds aux entreprises. France 2030 mobilise une enveloppe de 300 millions d'euros de fonds publics¹⁶⁸ à destination des entreprises pour encourager les investissements dans la chaîne de recyclage et l'incorporation de matières plastiques recyclées. Cette ambition est d'ailleurs soulignée par Bérandère Couillard, ancienne ministre (observation de terrain, prise de parole aux Assises nationales des déchets en 2022) : « maintenant il faut planifier la transition, développer les filières de recyclage, l'objectif est de recycler tous les déchets plastiques. Les produits non recyclables n'auront plus leur place en France ». C'est une transition de notre modèle. » Dans ce cadre, l'Ademe a lancé deux appels à projets spécifiques.

Le premier, l'Appel à Projets National pour le Recyclage des Plastiques, Composites, et Élastomères¹⁶⁹, a pour objectif de structurer et d'optimiser les filières de recyclage de ces matériaux. Cet appel encourage la mise en place d'installations de recyclage et l'incorporation MPR.

Le deuxième, le dispositif ORPLAST (Objectif Recyclage PLASTiques)¹⁷⁰ de 2022 est axé sur la régénération des plastiques et vise à intégrer davantage de plastiques recyclés dans les chaînes de production. Comme le souligne l'ADEME, « avec le dispositif ORPLAST qui finance les plasturgistes, cela a permis de mettre le pied à l'étrier. Avant, ils étaient frileux, car les MPR étaient vues comme de

168 <https://www.Ademe.fr/presse/communique-national/investir-dans-la-france-de-2030-le-gouvernement-lance-un-appel-a-projets-pour-soutenir-lindustrialisation-de-procedes-de-recyclage-des-plastiques/> consulté en septembre 2025

169 <https://agirpourlatransition.Ademe.fr/entreprises/aides-financieres/20220406/appel-a-projets-national-recyclage-plastiques-composites-elastomeres> consulté en septembre 2025

170 <https://agirpourlatransition.Ademe.fr/entreprises/aides-financieres/2022/investissements-recyclage-dechets-dont-orplast-regeneration> consulté en septembre 2025

moins bonnes qualités que le plastique vierge. Le programme a permis de financer 380 projets pour le recyclage mécanique, renforçant la capacité de la filière plastique à utiliser des matériaux recyclés et à mieux se structurer » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022). Pour garantir cette nouvelle structuration, l'Ademe collabore avec le syndicat des recycleurs Federrec et des représentants des plasturgistes Polyvia et IPC. Ces organisations agissent comme « relais » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022) pour garantir que les recycleurs et les plasturgistes développent leurs activités, restent compétitifs tout en se conformant aux nouvelles normes environnementales. Ces structures jouent ainsi un rôle clé d'accompagnement et de sensibilisation des entreprises membres aux pratiques du recyclage et de l'écoconception, essentiels pour la transition vers une circularité plus forte de la matière souhaitée par le gouvernement et le maintien de la profession des plasturgistes : « IPC et Polyvia font l'animation sur le terrain. Ils font le relais auprès des plasturgistes pour ne pas qu'ils disparaissent » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022). Ainsi, l'objectif principal de ces structures n'est pas de porter directement une transformation vers l'économie circulaire, mais avant tout d'assurer la survie de leurs adhérents. Comme toute organisation professionnelle, leur rôle premier est de défendre les intérêts de leurs adhérents et de maintenir l'existence d'un tissu industriel menacé ici par des évolutions réglementaires.

En outre, le dispositif ORPLAST a eu un impact notable pour le secteur de la régénération des plastiques. Selon les retours des acteurs de terrain relayé par le SRP (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022), la majorité des recycleurs français ont été soutenus par ORPLAST. Cependant, ces entreprises se heurtent à des défis supplémentaires, notamment en matière de tri des déchets plastiques. Le besoin de sur-tri pour améliorer la qualité du broyat et des déchets recyclés devient urgent pour eux. Toutefois, ce processus nécessite des investissements dans des machines spécifiques, et la livraison de ces équipements rencontre des retards importants depuis la crise sanitaire Covid. Par ailleurs, ce dispositif a également fourni un soutien significatif à la filière plasturgie. Néanmoins, certains acteurs du secteur trouvent que ces aides arrivent trop rapidement et en trop grand nombre, ce qui génère des inquiétudes quant à la capacité de la filière à s'adapter et à tirer pleinement parti de ces soutiens (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022).

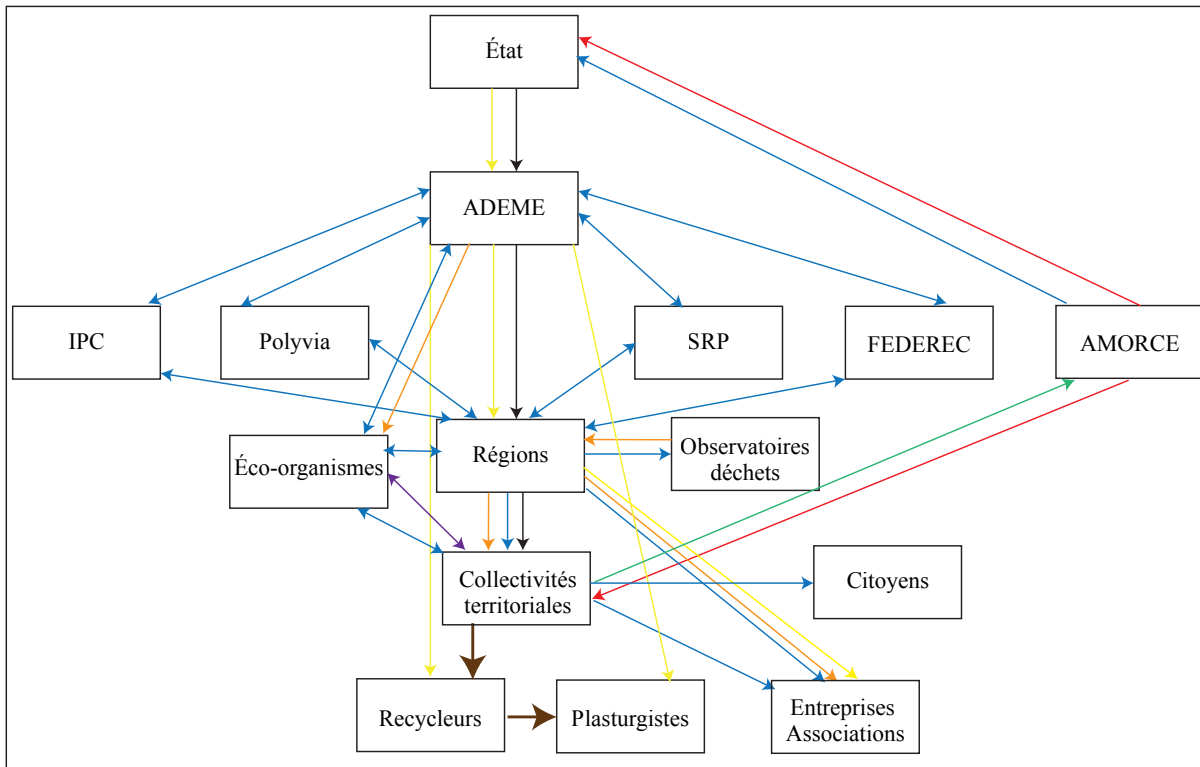
France 2030 cherche également à dynamiser la stratégie nationale d'accélération du recyclage à travers un appel à projets destiné aux acteurs de la recherche (le programme Expérimental Prioritaire de Recherche – PEPR – Recyclage, Recyclabilité et Réincorporation des matières) doté de 50 millions d'euros et d'un second destiné aux acteurs de la formation (l'appel à manifestation d'intérêt Compétences et Métiers d'Avenir – CMA) doté d'une vingtaine de millions d'euros. Au sein du PEPR, parmi les 11 axes matières, filières et transverses qui y sont développés, l'axe « Plastique » est financièrement le mieux doté. Si le PEPR est porté par l'ANR (Agence Nationale de la Recherche), l'AMI CMA est lui porté par la Banque des territoires (institution de la Caisse des Dépôts et des Consignations). Si les soutiens financiers sont bien moindres que ceux destinés aux professionnels, ils permettent tout de même de consolider les équipes de recherche et/ou de formation sur le sujet, tel que, par exemple, les universités du Mans et de Bordeaux, qui sont les deux seules en France à être lauréates des deux appels à projets.

Ainsi, l'État (notamment à travers l'Ademe) vise principalement à structurer les filières de recyclage, entre autres des plastiques, avec une attention particulière portée aux recycleurs et plasturgistes impliqués dans la fin de vie des plastiques. Si ces investissements répondent à une

demande croissante de solutions de recyclage (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022 : « On met l'accent sur le recyclage, car ça permet de boucler » le cycle de la matière), ils montrent également une orientation marquée vers la gestion des déchets plastiques en aval, sans soutenir ni la prévention des déchets plastiques ni l'écoconception. En effet, le déploiement de financements en faveur du recyclage contraste avec le manque de moyens alloués à la prévention, au réemploi et à la réflexion amont : « le problème c'est qu'il y a beaucoup de financements pour le recyclage et peu pour la prévention » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022). Cette observation met en évidence une certaine lacune dans l'approche des politiques publiques, où l'accent est largement mis sur la valorisation des déchets plastiques une fois générés, puisqu'une telle approche permet de créer une nouvelle activité économique sans remettre en cause l'ensemble du modèle, au détriment d'initiatives visant à limiter leur production ou encourager des pratiques de réemploi, nécessitant une évolution sociétale plus profonde à la fois dans le domaine de la production comme de la consommation. L'Ademe souligne également la difficulté de « savoir ce qu'on finance dans le réemploi des plastiques » en posant la question de savoir si c'est « uniquement le lavage » des emballages réutilisables ? » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022), activité importante, mais non suffisante. Ceci illustre encore une certaine immaturité des politiques en matière de réemploi et de prévention des déchets et la crainte de bouleverser trop en profondeur les modes de fonctionnement de l'économie d'une part, d'atteindre trop en profondeur les pratiques de consommation d'autre part au risque de générer des inégalités écologiques vectrices de mouvements sociaux de type gilets jaunes. Ce manque de clarté et de soutien financier démontre un besoin d'approfondir les stratégies pour éviter la création de déchets en amont, un élément pourtant essentiel dans une perspective d'économie circulaire.

Les acteurs publics locaux : une maîtrise difficile des flux plastiques

Les acteurs publics locaux et territoriaux, notamment les collectivités locales et les régions, jouent un rôle central dans la mise en œuvre des politiques nationales de gestion des déchets plastiques. Tandis que les grandes orientations et les objectifs sont définis au niveau national, c'est à ces acteurs de les traduire concrètement sur le terrain (*cf.* figure 40).



Légende :

Relations fonctionnelles	Jeux d'acteurs	Flux de matières plastiques
Études techniques	Défense des intérêts	Plastiques
Financement	Tensions	
Mandate	Communication	
Politique publique		

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 39 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des acteurs publics

Les intercommunalités gestionnaires de terrain des déchets

Les collectivités territoriales occupent une position clé dans ce processus. Conformément à l'article L2224-13 du Code général des collectivités territoriales, elles sont responsables de la gestion des déchets ménagers et assimilés comprenant notamment la prise en charge des déchets plastiques au niveau local, ce qui inclut l'organisation de la collecte, du tri sélectif, ainsi que la vente des déchets plastiques triés aux recycleurs. Il leur appartient également, dans le cadre du règlement de collecte établi en application de l'article R2224-26, de fixer les modalités de collecte de ces déchets. Cela inclut de mettre en place un service public de collecte des ordures ménagères et assimilées (OMA), réalisées en porte-à-porte ou via des points d'apport volontaire. Le service public de gestion des déchets (SPGD) assure également la collecte sélective des emballages ménagers (dont les plastiques), ainsi que celle de certains emballages issus des activités commerciales et professionnelles, lorsque la collectivité a décidé d'offrir ce service à tout ou partie des entreprises de son territoire (généralement pour les petites entreprises). La part de déchets plastiques se trouvant dans les OMR ainsi que les déchets plastiques ne disposant pas de filière de recyclage sont orientés vers des installations de valorisation énergétique (incinérateurs) ou des sites de stockage de déchets non dangereux (communément appelés des décharges). Elles sont donc chargées d'adapter les directives nationales aux réalités locales, en prenant en compte les infrastructures

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

existantes et les spécificités de chaque territoire. Toutefois, cette tâche est loin d'être simple, car les collectivités se heurtent à plusieurs défis majeurs.

Chargées de la gestion des déchets ménagers et assimilés, les collectivités se trouvent souvent contraintes par des décisions prises en amont. Elles subissent, d'une part, le choix des matériaux et des conceptions imposées par les producteurs des objets qui se retrouvent dans leurs déchets, et, d'autre part, les évolutions des modes de consommation (consommation nomade hors ménages, erreurs ou inattentions de tri, incivilités, etc.), sans pouvoir directement influencer sur ces comportements. Par ailleurs, les débouchés pour les matériaux recyclés dépendent fortement des nouvelles réglementations, mais aussi des fluctuations économiques du marché des matières et des préférences d'achats des industriels. Ainsi, elles n'ont que peu de contrôle sur la filière plastique, tant sur leur production et mise sur le marché qu'au niveau des déchets plastiques produits et gérés où l'économie du recyclage est dominée par des acteurs extérieurs, comme les éco-organismes et les recycleurs (Fédération des collectivités territoriales, entretien, 2023). Si les éco-organismes et les filières REP sont censés assurer un matelas financier pour les collectivités locales leur permettant d'atténuer les fluctuations des marchés de matières premières, la réalité de la mise en pratique des soutiens des éco-organismes est beaucoup moins souple et source de tensions récurrentes (Déchets infos n° 240, 2022).

Un exemple marquant des défis récents auquel les collectivités ont dû faire face est leur opposition à l'instauration du système de consigne pour recyclage des bouteilles plastiques. Cette technique vise, pour le consommateur, à rapporter les bouteilles en plastique à des distributeurs automatiques dans les supermarchés, contre quelques centimes d'euros, avant que celles-ci soient envoyées vers les filières de recyclage, broyées et réincorporées à des objets neufs. Cette technique s'oppose à la consigne pour réemploi, qui vise à ne pas détruire les emballages, mais à la laver pour les réutiliser avec le même effet. À l'issue de la directive européenne SUP de 2019, des objectifs de recyclage pour les bouteilles en plastique sont fixés : atteindre 77 % d'ici 2025 et 90 % d'ici 2030. L'intégration de ces objectifs à travers la mise en place d'une consigne pour recyclage, comme demandé par les producteurs de boissons, est discutée lors de l'élaboration de la loi AGECE en 2020. Les collectivités et leur syndicat AMORCE se sont vivement opposés à cette proposition dénonçant une privatisation partielle des déchets ménagers, un risque de complexification du tri pour les citoyens et une concurrence déloyale (car monétarisée) envers le système de collecte sélective classique pouvant amener les collectivités locales à perdre de l'argent, car privés du flux plastique le plus qualitatif (Déchets infos n° 256, 2023). À l'issue de nombreux débats au Parlement, les collectivités ont obtenu le report de cette mesure jusqu'en 2024. D'ici là, les éco-organismes Citeo et Léko, responsables de la gestion des déchets d'emballages, sont mandatés pour étudier la faisabilité d'une mise en œuvre régionalisée de cette consigne pour recyclage.

Au-delà du travail de porter leurs intérêts auprès du gouvernement et du parlement français, les collectivités territoriales doivent agir sur le terrain, notamment à travers le levier d'action de la fiscalité de la gestion des déchets. Ce sont elles qui collectent les taxes et redevances auprès des citoyens pour assurer le fonctionnement du service public. Grâce à ces dispositifs, elles ont la possibilité de sensibiliser la population au tri des déchets et d'encourager une réduction de leur production. Néanmoins, elles se plaignent de ne pouvoir couvrir leurs coûts. La loi n° 2009-967 du 3 août 2009 (dite Grenelle 1) impose que les éco-organismes, ici, Citeo prenne en charge au moins 80 % du coût net de la gestion des emballages ménagers (collecte, tri, recyclage), les 20 % restants devant être

couverts par les recettes de vente des matières et les recettes locales (taxe ou redevance d'enlèvement des ordures). En pratique, toutefois, de nombreuses collectivités estiment que les versements effectifs de Citeo sont inférieurs à ce seuil théorique, laissant un « trou » financier - amplifié par la hausse des coûts de collecte et de tri et par des divergences sur les méthodes de calcul - et alimentant un conflit sur la répartition réelle des charges (Déchets infos n° 41, 2014). Les éco-organismes occupent pourtant une place centrale dans le financement de la gestion des déchets plastiques, en percevant des contributions des producteurs en fonction de la quantité et qualité des plastiques mis sur le marché. Cependant, ces contributions sont souvent insuffisantes pour couvrir 80 % des coûts des collectivités liés à la gestion des déchets, comme l'exige l'agrément des éco-organismes (Fédération des collectivités territoriales, entretien, 2023), ce qui contraint les acteurs locaux à prendre en charge une partie de ces dépenses, en particulier pour les fractions non recyclées ou difficilement recyclables. Cette situation crée une dépendance financière des collectivités vis-à-vis des éco-organismes, limitant ainsi leur autonomie dans la gestion des flux plastiques.

En outre, les collectivités ne contrôlent pas le marché du recyclage. Bien qu'elles soient responsables de la collecte et du tri, entre autres des plastiques, elles dépendent des éco-organismes et des recycleurs pour la valorisation des matériaux. Ce marché échappe donc largement à leur contrôle. Les prix fluctuants des matières plastiques recyclées, la dépendance aux acteurs privés pour le recyclage limitent leur pouvoir d'action. En conséquence, les collectivités doivent souvent se conformer sans pouvoir influencer sur les mécanismes économiques globaux qui régissent la filière du recyclage. D'un point de vue économique, cela place les collectivités dans une position délicate. Si les éco-organismes et les recycleurs gèrent, l'aspect financier et opérationnel du recyclage, les collectivités doivent souvent financer la gestion des déchets non recyclés, donc leur mise en décharge ou à l'incinération.

Les régions acteurs de planification et de coordination

À un échelon territorial légèrement supérieur, les régions, bien qu'elles jouent un rôle moins opérationnel dans la gestion des flux plastiques, commencent à s'engager davantage sur le terrain de la lutte contre la pollution plastique depuis qu'elles ont la responsabilité légale de piloter les PRPGD (Plans Régionaux de Prévention et de Gestion des Déchets) – loi NOTRE de 2015. Au-delà de leur obligation légale de planifier la gestion des déchets et la mise en œuvre de l'économie circulaire, elles développent parfois des stratégies plus ciblées pour réduire l'impact environnemental des plastiques, notamment à travers des plans régionaux de lutte contre les déchets plastiques, comme les « plans zéro plastique »¹⁷¹. Ces initiatives, bien que récentes, montrent une prise de conscience croissante au niveau régional, en particulier dans les zones maritimes et côtières. C'est par exemple le cas de la Région Pays de la Loire, particulièrement concernée par la problématique des déchets plastiques en raison de sa position côtière et de sa place en tant que deuxième région française en nombre d'entreprises dans le secteur de la plasturgie. Elle est en cours d'élaboration d'un plan dédié à la réduction des déchets plastiques en mer avec un focus particulier sur l'exemplarité interne de la région, la communication et la sensibilisation du public (entretien avec une chargée de mission

171 Liens vers des plans plastiques existants : <https://www.iledefrance.fr/toutes-les-actualites/la-region-agit-pour-une-ile-de-france-zero-plastique-en-2030> ; <https://www.arbe-regionsud.org/31391-plan-dactions-zero-dechet-plastique-en-mer-2020-2025.html?parentId=6312> ; https://www.nouvelle-aquitaine.fr/actualites/plan-zero-pollution-plastique-2023-2028#titre_h2_9265 ; <https://www.laregion.fr/-Plan-plastique-Occitanie->

économie circulaire, Région Pays de la Loire, 2023). Un aspect central de ce projet est de répondre à un manque d'information et de sensibilisation sur la pollution plastique, tout en soutenant les entreprises et associations locales dans leurs activités et implications à changer leurs pratiques vers davantage de prévention des déchets plastiques (entretien avec une chargée de mission économie circulaire, Région Pays de la Loire, 2023). De même, la Normandie, à travers la mise en place de la Stratégie pour une Économie Circulaire en Normandie (SECN), cherche également à promouvoir des solutions locales pour gérer les déchets plastiques et encourager une transition vers une économie circulaire. La stratégie est actuellement en révision, mais reste toujours un pilier de la politique régionale. Elle repose sur plusieurs initiatives, comme le réseau NECI (Normandie Économie Circulaire), qui regroupe les informations sur l'économie circulaire et facilite la coopération entre les différents acteurs de la filière. Ce réseau permet aux acteurs du secteur de se rassembler et de partager leurs connaissances. Dans le cadre de ce réseau, la Normandie a également initié un «club plastique» pour regrouper l'ensemble des acteurs économiques de la chaîne des plastiques, de la production à la fin de vie des matériaux. Ce club, est animé par IPC (Institut de la Plasturgie et des Composites), ce qui démontre en soit l'orientation choisie par la région sur ce sujet : développer l'activité économique puisqu'IPC regroupe les industriels de la plasturgie). Le club plastique permet de structurer le secteur autour d'objectifs communs et de favoriser la collaboration et le développement de liens entre acteurs (entretien avec un chargé de mission, Service Énergies renouvelables et économie circulaire, Région Normandie, 2023).

Les initiatives des régions Pays de la Loire et Normandie illustrent l'émergence croissante des préoccupations concernant la gestion des plastiques au niveau local. Ces régions comme d'autres ; Île-de-France, Occitanie, Nouvelle-Aquitaine, ont lancé des plans zéro plastique, marquant une volonté politique de réduire l'impact environnemental des plastiques, en inscrivant des mesures comme le développement du recyclage, la prévention des déchets marins et la limitation des plastiques à usage unique. Bien que les plans zéro plastique représentent un premier pas important, ils sont encore pour la plupart en phase de construction (régions Normandie et Pays de la Loire), quand d'autres viennent récemment d'être élaborés (région Occitanie), ainsi, leur réalité reste une perspective. Les régions doivent surmonter plusieurs obstacles pour que ces initiatives aient un impact réel, telles que la nécessité d'une coordination entre les acteurs locaux, un soutien actif aux entreprises locales pour les accompagner dans leur transition, ainsi que la mise en place d'actions concrètes.

Enfin, un autre problème important réside dans le manque de connaissance des régions sur la filière plastique présente sur leur territoire (entretien avec une chargée de mission économie circulaire, Région Pays de la Loire, 2023 ; entretien avec une chargée de projets Déchets – Ressources, Observatoire Teo, Région Pays de la Loire, 2023). Cette méconnaissance des acteurs locaux et des flux plastiques complique la mise en œuvre de politiques de gestion efficaces. Sans une meilleure compréhension de la chaîne de valeur du plastique, il est difficile d'élaborer des stratégies de gestion des déchets adaptées et de favoriser une économie circulaire locale des plastiques. Les régions se rapprochent pour cela des acteurs comme Polyvia, ainsi que des acteurs opérationnels de terrain, tels que les recycleurs et plasturgistes. Pour ce faire, les régions peuvent être soutenues par les observatoires de déchets régionaux, qui disposent d'une mission de collecte, d'analyse et de diffusion de données et de concertation dans les territoires (Cour des comptes, 2022) sur les flux de déchets et de matières. Ces observatoires peuvent, par exemple, réaliser des études spécifiques sur la filière plastique régionale afin d'en mesurer les gisements, les usages et les perspectives de valorisation (entretien avec une

chargée de mission économie circulaire, Région Pays de la Loire, 2023 ; entretien avec une chargée de projets Déchets – Ressources, Observatoire Teo, Région Pays de la Loire, 2023). La mise en place des observatoires régionaux découle directement de la loi NOTRe du 7 août 2015, qui a confié aux régions la compétence en matière de planification des déchets. Dans ce cadre, chaque région doit élaborer un Plan régional de prévention et de gestion des déchets (PRPGD). Les régions se saisissent progressivement de cet outil pour élargir leur champ d'analyse au-delà des seuls déchets, vers l'ensemble des matières circulant sur leur territoire (flux de plastiques, biomasse, matières minérales, métaux, etc.), contribuant ainsi à une meilleure connaissance des ressources mobilisables dans une logique d'économie circulaire, voire même de métabolisme territorial¹⁷². Ces observatoires connaissent une phase de consolidation depuis 2019, en lien avec l'adoption des premiers PRPGD. La plupart des régions sont désormais dotées d'un observatoire opérationnel, même si leur niveau de structuration et leurs moyens varient (Cour des comptes, 2022).

Les éco-organismes : un pouvoir prédominant

Du contrôle en amont à l'opérationnalisation du recyclage en aval : l'élargissement du rôle des éco-organismes

En France, les éco-organismes jouent un rôle pivot dans la chaîne de valeur des plastiques en gérant la Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) au sein des différentes filières d'objets-déchets composées en tout ou partie de matières plastiques. Les plastiques sont particulièrement présents dans certaines filières constituées de façon ancienne : les emballages ménagers (Citeo et dans une moindre mesure Leko et Adelphe), les meubles (Ecomaison ou Valdelia), les équipements électriques et électroniques (Ecosystem, Ecologic), les textiles (ReFashion) ; ainsi que certaines filières issues de la loi AGECE de 2020 : les déchets du bâtiment (Ecomaison, Ecominero et Valobat et Valdelia), les jouets (Ecomaison), les Articles de Sport et Loisirs (Ecologic) et les Articles de Bricolage et Jardin (EcoDDS, Ecologic, Ecomaison, Valobat). Ces organisations de droit privé, à but non lucratif, créées par les producteurs (metteurs en marché) de produits eux-mêmes, mais sous le contrôle de l'État, sont agréées pour une durée variable (généralement plusieurs années) et leur fonctionnement est encadré par un cahier des charges détaillé pour chaque filière. Les missions des éco-organismes se sont progressivement élargies en réponse aux impératifs de l'économie circulaire et aux évolutions législatives, telles que la loi AGECE (Micheaux, 2020).

Au sein de la chaîne de valeur française des plastiques, les éco-organismes ont pour mission d'accompagner les metteurs sur le marché, qualifié de « nos clients » (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022), notamment dans l'écoconception de leurs produits, avec l'ajout de critères environnementaux dans le calcul des écocontributions – un processus appelé éco-modulation. Par exemple, dans le secteur des emballages plastiques, Citeo ajuste les écocontributions¹⁷³ selon des

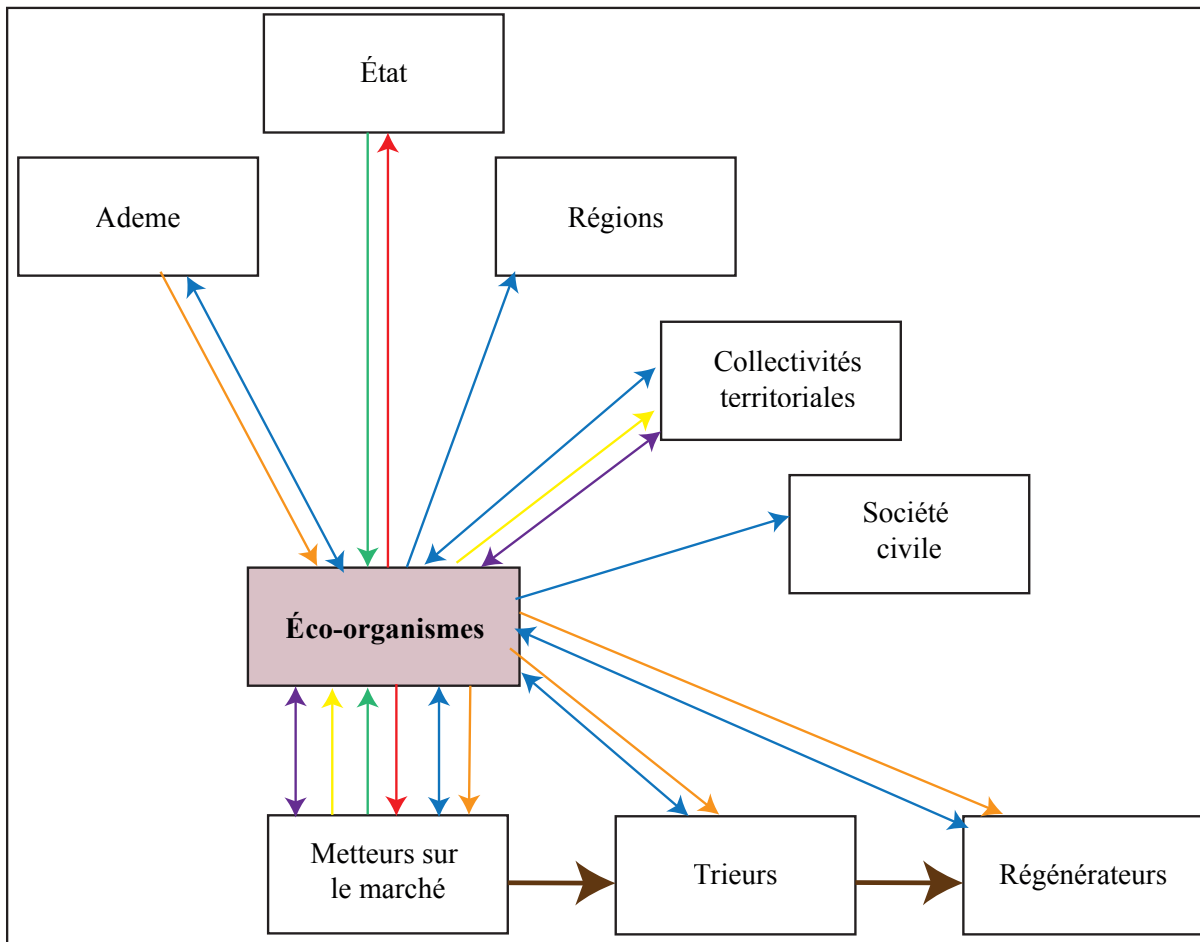
172 <https://ordec.arec-nouvelleaquitaine.com/etudes-specifiques/metabolisme-territorial> consulté en octobre 2025

173 À titre d'illustration, voici un exemple concret d'application de l'éco-modulation : « Par exemple, si vous versez une contribution de base de 100€/t pour vos emballages plastiques, l'éco-modulation peut vous accorder un bonus de 10 % (soit 90€/t au final) pour récompenser la réduction d'un emballage, ou au contraire vous appliquer un malus de 10 % (soit 110€/t) si votre emballage contient des éléments perturbateurs de recyclage. » <https://www.citeopro.com/quest-ce-que-leco-modulation/#:~:text=Par%20exemple%2C%20si%20vous%20versez,votre%20emballage%20contient%20des%20%C3%A9l%C3%A9ments> consulté en septembre 2025.

critères tel que la recyclabilité et la durabilité des matériaux, incitant ainsi les metteurs sur le marché à adopter des pratiques plus responsables dès la conception : « nous les aidons à choisir le meilleur choix d'emballage » (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022), ou encore « on a un rôle d'accompagnement sur les évolutions des emballages de nos clients pour faire en sorte qu'ils passent d'un emballage qui soit basique à un emballage qui est peut-être plus réduit, qui contient peut-être plus de recyclé, ou en tout cas qu'il soit recyclable (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022). Si historiquement et légalement, ils se positionnent en intermédiaires entre les acteurs publics (État, Ademe, collectivités territoriales) et les entreprises privées (metteurs sur le marché) en gérant le flux financier de la fin d'usage des objets mis sur le marché, ils viennent de plus en plus se glisser du côté des opérateurs de déchets en reprenant à leur charge certaines missions opérationnelles. Pour certains, ils ne se limitent plus à des fonctions de financement, mais s'impliquent de plus en plus techniquement dans le tri et le recyclage des déchets plastiques (entretien avec un ingénieur, Citeo et une responsable Eco-Conception et Réemploi Emballages, Adelphe, 2023), ce qui leur confère un rôle important dans l'atteinte des objectifs de recyclage et de valorisation des matériaux. Cette évolution permet de distinguer deux types d'éco-organismes : d'une part, les éco-organismes financiers, qui se concentrent sur la collecte des contributions des metteurs en marché et le financement du système ; et d'autre part, les éco-organismes opérationnels, qui, au-delà du financement, interviennent directement dans la gestion concrète des déchets, notamment via des expérimentations de tri ou de recyclage. Par exemple, « nous avons également lancé un appel d'offres sur le flux en développement en centre de tri. Sur ce flux, Citeo réalise du sur-tri. Le but de cet appel d'offres est de sélectionner les recycleurs ayant les technologies pour recycler ces flux. Aujourd'hui, les plastiques en flux développement ne sont pas recyclés, mais non l'espérons d'ici 2023. Les technologies sont encore en cours de développement » (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022). Il est important de préciser que ce flux en développement crée en 2019 par Citeo correspond à tous les plastiques que les citoyens mettent dans la poubelle jaune, mais qui ne sont pas encore recyclés aujourd'hui : par exemple, les barquettes en PET ou multicouches, les pots de yaourt ou barquettes en PS, ou encore les bouteilles colorées en PET et d'autres bouteilles en PET opaque¹⁷⁴. En l'état actuel des technologies, ces plastiques sont collectés et triés, mais n'aboutissent pas à un recyclage effectif. L'objectif des appels d'offres lancés par Citeo est précisément de stimuler l'innovation technologique et d'accompagner l'émergence de nouvelles filières industrielles capables de recycler ces matériaux (entretien avec un ingénieur, Citeo et une responsable Eco-Conception et Réemploi Emballages, Adelphe, 2023).

Les éco-organismes, devenus des interlocuteurs incontournables dans la gestion des déchets, notamment plastiques, sont désormais à la fois responsables de l'accompagnement des metteurs sur le marché en amont et de la mise en œuvre technique du recyclage en aval. C'est ainsi eux qui redéfinissent les modalités de mise en circulation des plastiques jusqu'à leur fin d'usage. L'investissement de Citeo dans la recherche de solutions techniques pour le recyclage des plastiques du flux « en développement » en témoigne. Ce basculement de pouvoirs et de rapport de force, qui renforce la position des éco-organismes dans la chaîne de valeur, n'est pas sans conséquences pour les autres acteurs de la filière (cf. figure 40).

174 <https://www.citeo.com/interview-dun-expert/le-flux-developpement-accelerateur-de-rd-pour-le-recyclage-des-emballages> consulté en septembre 2025.



Légende :

<i>Relations fonctionnelles</i>	<i>Jeux d'acteurs</i>	<i>Flux de matières plastiques</i>
Études techniques	Défense des intérêts	Plastiques
Financement	Tensions	
Mandate	Communication	

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 40 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des éco-organismes

Prenons pour exemple, les relations entre Citeo et ses partenaires, qu'il s'agisse des recycleurs, des metteurs sur le marché ou des collectivités territoriales, qui sont redéfinies par cette prise de compétence devenue centrale dans la gestion des flux de déchets plastiques. Tout d'abord, avec les metteurs sur le marché, Citeo continue de jouer son rôle de conseiller dans l'écoconception des emballages. Toutefois, cette intervention, de plus en plus technique dans le choix des emballages, peut créer des tensions, notamment lorsque certaines solutions, comme les bioplastiques, sont mises de côté au profit d'autres options considérées plus viables (« les bioplastiques ne sont pas pris en compte par citeo ») (entretien avec un chargé de mission, Elipso, 2023). Ces tensions ne peuvent toutefois qu'être amenuisées par le fait que les metteurs en marchés soient les actionnaires de Citeo, avec donc un pouvoir important à son égard. Ce n'est pas sans susciter des débats parmi les entreprises,

qui doivent jongler entre les exigences techniques, réglementaires et les impératifs économiques. De plus, après avoir payé des écocontributions pendant 30 ans, elles constatent que peu de filières de recyclage des déchets plastiques ont été réellement développées, ravivant les critiques envers son éco-organisme : « il faut appeler un chat un chat, citeo ne nous aide pas » (entretien avec un directeur RSE, plasturgiste, 2023).

Les collectivités locales, quant à elles, ressentent une pression croissante avec l'essor des éco-organismes. Historiquement responsables de la gestion des déchets ménagers, elles se voient parfois reléguées à un simple niveau d'exécutant, alors que Citeo et ses pairs s'impliquent davantage dans la définition du cadre et des modalités du processus de collecte et de tri. Cette évolution peut être perçue comme une forme de domination, voire parfois de concurrence directe, d'autant plus que Citeo se positionne également comme un « densificateur » dans la chaîne de collecte des déchets, ce qui accentue les tensions locales : « nous basculons vers plus d'opérationnalité, car les collectivités territoriales ne permettent pas de massifier la filière. Nous sommes densificateur » (Éco-organisme, entretien, 2022). Ce terme de densificateur est à entendre comme un acteur qui permet de capter et massifier (collecter et trier par catégorie) suffisamment de gisement matière pour impulser ensuite la création de filières de recyclage. Les relations avec les recycleurs prennent également une nouvelle dimension. En développant des partenariats directs avec les acteurs du recyclage, via des appels d'offres ciblés, Citeo augmente son influence sur la structuration des filières : « nous avons un rôle fort de création de filières de recyclage et nous sommes de plus en plus actifs sur ça » (entretien avec un ingénieur, Citeo et une responsable Eco-Conception et Réemploi Emballages, Adelphe, 2023). Cette prise de pouvoir technique et économique, bien qu'essentiel pour le développement de nouvelles solutions de recyclage, peut provoquer des frustrations parmi certains recycleurs qui estiment parfois ne pas être suffisamment impliqués dans les choix stratégiques.

Le poids dominant de Citeo et ses limites pour la circularité des plastiques

Enfin, le quasi-monopole de Citeo (98 % de part de marché pour la filière emballages ménagers en 2024)¹⁷⁵ dans la filière du recyclage des emballages ménagers plastiques en France soulève des préoccupations sur la concentration du pouvoir entre les mains d'un seul acteur. En tant qu'éco-organisme dominant, Citeo détient une part importante (près de 99,7 % des écocontributions de la filière emballages en 2021 : 847,2 millions d'euros versés à Citeo (Citeo & Adelphe, 2021) sur environ 850 M€ collectés par l'ensemble des éco-organismes (Citeo et Léko) (Masségli, 2023), Léko ne représentant donc qu'une part résiduelle) de la gestion des fonds collectés par les écocontributions, ce qui lui confère un contrôle significatif sur les ressources financières allouées au recyclage et à la gestion des déchets plastiques – allant théoriquement jusqu'au réemploi. De plus, c'est Citeo qui prend de nombreuses décisions techniques, sur l'orientation et les évolutions des filières des emballages plastiques, telles que, par exemple, la mise en place de l'extension des consignes de tri, aujourd'hui généralisées, qui visent à mettre tous les emballages dans la poubelle de collecte sélective, même ceux n'étant techniquement pas recyclables actuellement. Cette concentration de pouvoirs soulève des interrogations sur l'impact des choix pris par Citeo sur les autres acteurs de la filière, notamment les recycleurs et les metteurs sur le marché, qui dépendent de ses décisions. Ainsi, bien que Citeo soit

175 Rapport d'activité de Citeo pour l'année 2024 : https://www.citeopro.com/wp-content/uploads/2025/07/250704_ER_RA_CITEO_2025_WEB.pdf consulté en septembre 2025.

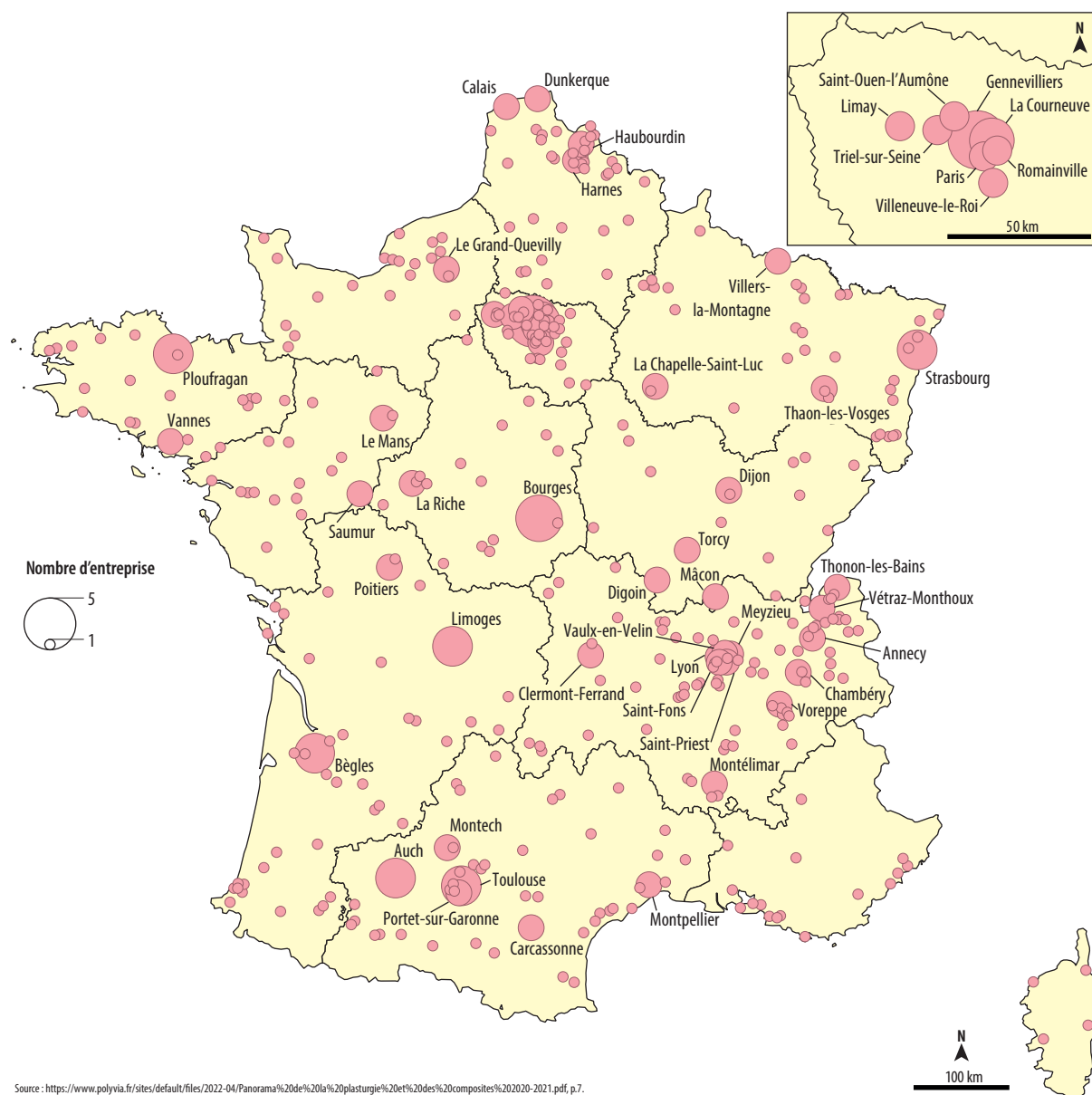
un acteur clé de la filière, sa position dominante ne permet pas des relations toujours équilibrées avec les autres acteurs de la filière.

L'un des enjeux principaux afin de développer le recyclage serait de réduire le nombre de résines en circulation sur le marché, afin qu'elles soient en adéquation avec la capacité d'action des recycleurs en aval. Pour cela, ce sont alors les éco-organismes qui, en France et en Europe, ont un pouvoir théorique d'action à travers la modulation de l'éco-contribution qu'ils perçoivent et à travers l'accompagnement qu'ils peuvent mettre en œuvre pour restreindre le nombre de résines en usage. Ce sont également eux qui peuvent agir afin de réduire les volumes de plastiques mis sur le marché. Cependant, leur dépendance structurelle aux metteurs sur le marché ne leur offre en réalité à ce jour que peu d'influence sur les flux en circulation. Compte tenu des difficultés liées à la collecte sélective et au recyclage mécanique des déchets, l'atteinte des objectifs de recyclage fixés par la loi AGEC semble difficile dans la configuration actuelle du jeu d'acteurs. C'est donc au niveau de la production et de la consommation des plastiques que se situent l'essentiel des leviers, et finalement moins au niveau de la gestion des déchets où la marge de progression reste possible, mais moins impactante.

Les collecteurs et trieurs : entreprises dites de recyclage

Les collecteurs et trieurs de déchets plastiques

Les collecteurs et les trieurs de déchets sont implantés au niveau des collectivités territoriales, à proximité des gisements de déchets ou des ports (*cf.* carte 8). Le nombre de centres de tri des emballages ménagers en France a diminué de moitié en onze ans, passant de 250 en 2012 à 123 en 2023 (Citeo, 2023). Cette réduction s'explique par leur modernisation, rendue nécessaire pour s'adapter à la diversité des nouveaux emballages plastiques à trier. Elle résulte de l'extension des consignes de tri engagée depuis 2016, qui permet désormais aux producteurs de déchets de déposer tous les types d'emballages plastiques dans la poubelle de tri (Citeo, 2023).



Carte 8 : Nombre de centres de tri par régions

Les opérateurs de collecte (collectivités territoriales ou entreprises privées spécialisées, comme par exemple Veolia, SUEZ ou Paprec) appliquent des schémas de collecte déterminés au niveau intercommunal (EPCI) conformément aux compétences réglementaires des collectivités, et peuvent assurer la mission en régie ou par délégation à des prestataires privés (Code général des collectivités territoriales, Articles L2224-13 à L2224-17-1). Ils procèdent à la collecte différenciée des déchets produits par les ménages, les entreprises et les établissements publics, et orientent les flux vers des infrastructures de déchets adaptées (centres de tri, unités de méthanisation, unités de compostage, incinérateurs, installations de stockage). Les déchets dits « recyclables », lorsqu'ils sont triés à la

source par les producteurs (ménages, entreprises, établissements publics), sont orientés vers les centres de tri. À ce stade, les trieurs, des opérateurs humains (exerçant le métier d'agent de tri ou d'agent valoriste) aidés de machines automatisées (tapis roulant, trieurs optiques¹⁷⁶, trommel¹⁷⁷, etc.) (cf. photographie 5), procèdent à une séparation des différents matériaux (plastiques, métaux, papiers, cartons, aluminium) et retirent les éléments contaminants (appelés refus de tri tels que des couches, emballages souillés, etc.).



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2025.
Centre de tri ValorPôle 72, Le Mans, 2022.

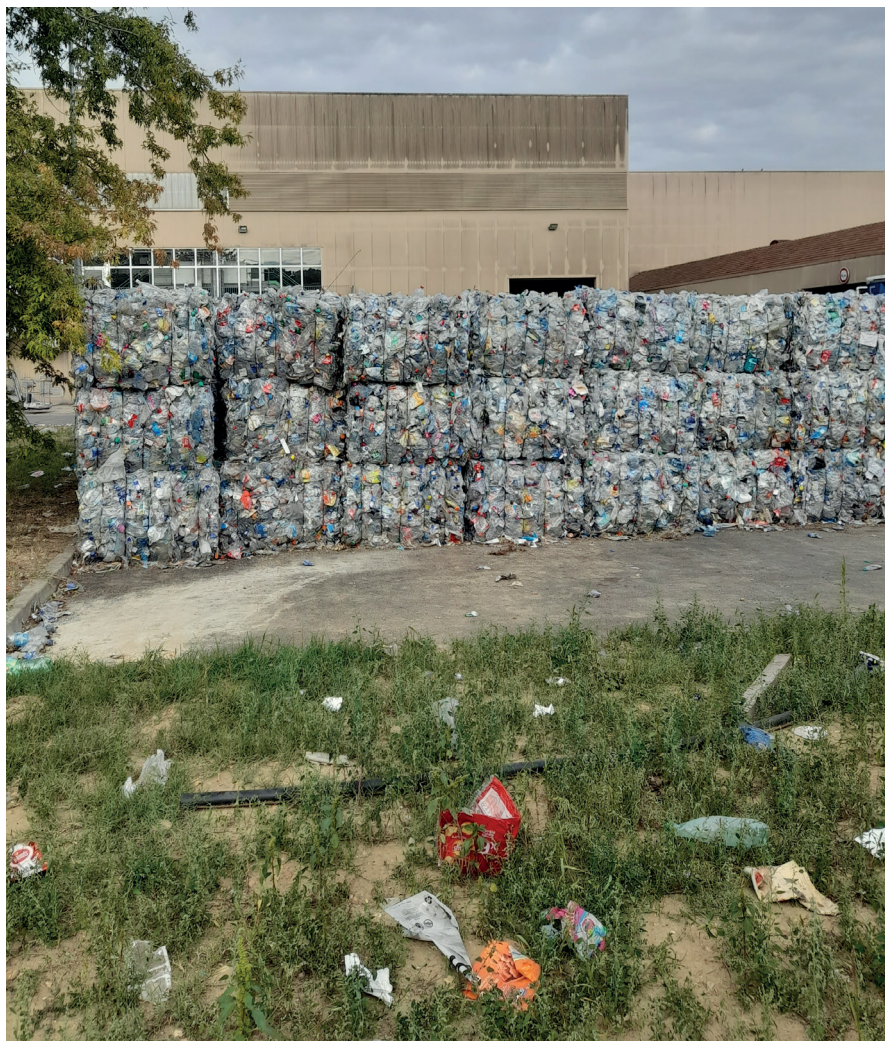
Photographie 5 : Déchets d'emballages ménagers plastiques sur un tapis roulant de centre de tri

176 Le tri optique permet de reconnaître les déchets à partir de leur forme et de leur couleur grâce à une analyse visuelle et spectrométrique, puis de les diriger vers le tapis approprié à l'aide d'un jet d'air comprimé.

177 Le trommel est un cylindre rotatif utilisé comme tamis. Il sépare les déchets en fonction de leur dimension, grâce au mouvement de rotation qui les fait passer à travers ses ouvertures.

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

Les matières ainsi récupérées sont ensuite conditionnées (compactage et mise en balles) (*cf.* photographie 6) en vue de leur envoi vers les filières de valorisation matière. Les fractions non recyclables ou dépourvues de filières adaptées sont orientées vers des solutions de valorisation énergétique (incinération) ou, en dernier recours, vers l'élimination en installation de stockage.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2025.
Centre de tri ValorPôle 72, Le Mans, 2022.

Photographie 6 : Bouteilles plastiques compactées et mises en balle au centre de tri

Dans le cas particulier des emballages ménagers plastiques, le tri se fait par résine afin de garantir la qualité du recyclat. Les principaux flux distingués sont : le PET clair (bouteilles transparentes), le PET coloré (bouteilles), le PEHD (flacons de produits ménagers, bidons), ainsi que certaines résines, comme le PP ou le PS (barquettes). Une fois séparées, ces fractions sont dirigées vers les recycleurs/régénérateurs, qui les transforment en nouvelles matières premières secondaires (observation terrain, centre de tri ValorPôle, Le Mans, 2022). L'exploitant du centre de tri vend ainsi les résines triées aux régénérateurs. À ce stade, des négociants en matières peuvent également intervenir : leur rôle est

d'acheter et de revendre les matières, en assurant leur valorisation sur le marché (entretien avec un négociant de matières, Veolia, 2022).

Avec l'extension des consignes de tri à l'ensemble des emballages plastiques (pots de yaourt, barquettes, films, tubes, emballages souples), certains centres de tri doivent désormais traiter le « flux développement » beaucoup plus diversifié et techniquement exigeant. Cela suppose des adaptations majeures : modernisation des équipements, ajout de trieurs optiques pour reconnaître les différentes résines, création de nouvelles lignes de sur-tri dédiées aux emballages auparavant non valorisés, et amélioration des systèmes de contrôle qualité (Mandjimba, 2025).

Des nouveaux plastiques collectés et triés impactant les entreprises de recyclage

Aujourd'hui, ce secteur est profondément transformé par le « tsunami réglementaire » (observation terrain, François Excoffier, président de Federrec, colloque Federrec, 2022), qui impose des objectifs en matière de recyclage des plastiques et exerce une forte pression sur les acteurs de la collecte et du tri, premiers maillons de cette chaîne (entretien, chargée de mission, Valorplast, 2022). Alors qu'il y a 20 ans, le métier de recycleur relevait principalement d'une activité commerciale, c'est désormais la réglementation qui dicte les orientations de la profession (observation terrain, Olivier François, colloque Federec, 2022). Les emballages plastiques sont particulièrement concernés par les nouvelles réglementations en matière de gestion des déchets et d'économie circulaire (loi AGECE, décret 3R, PPWR, loi Climat et Résilience). Ils occupent ainsi une place spécifique dans les orientations actuelles pour les acteurs de la filière. L'une des évolutions majeures réside dans l'extension progressive des consignes de tri, qui vise à simplifier le geste de tri pour les producteurs de déchets tout en augmentant les volumes de plastiques collectés. Plus récemment, de nouveaux flux de plastiques, jusqu'alors pas valorisés (films souples, barquettes, pots de yaourt, etc.), ont été intégrés aux filières de tri et de recyclage : « le problème c'est d'arriver à capter tous les plastiques qui sont en post-consommation. Jusque-là on n'allait pas chercher tous les plastiques, c'est vrai que l'extension devrait permettre d'aller chercher l'ensemble des plastiques et d'orienter et de booster le taux de recyclage » (entretien, chargée de mission, Valorplast, 2022). Ces évolutions ont demandé aux trieurs de s'adapter, tant sur le plan technique (modernisation des chaînes de tri, introduction d'outils de reconnaissance optique) qu'organisationnel (formation des opérateurs de tri, nouvelles procédures de contrôle, outils de l'intelligence artificielle), sans pour autant bénéficier d'une réelle capacité de décision dans ces choix stratégiques.

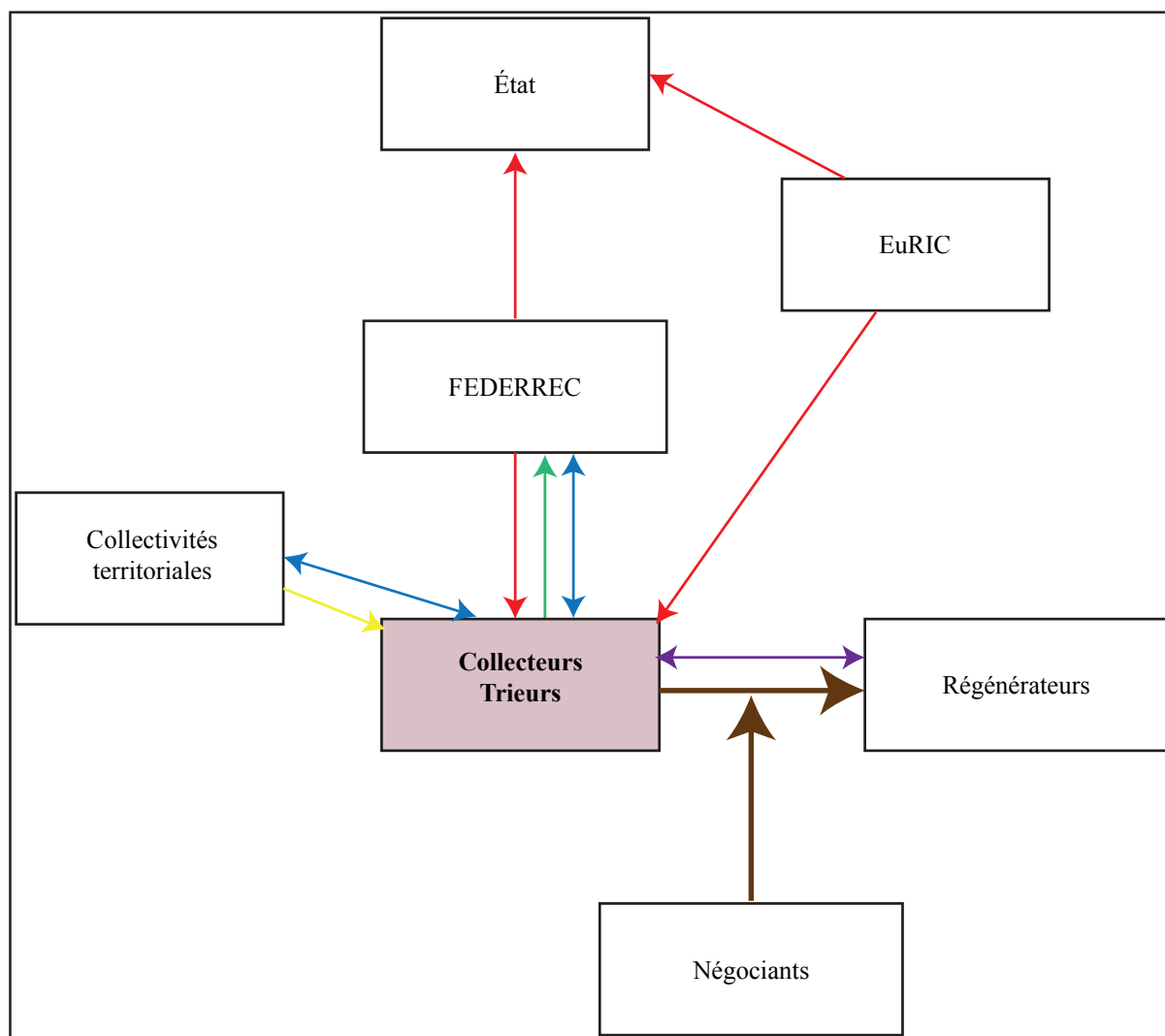
Ces adaptations entraînent une pression accrue sur les opérateurs de tri, qui doivent fournir aux régénérateurs une matière de grande qualité. Les erreurs de tri (par exemple l'introduction de plastiques de nature différente dans un flux homogène) peuvent en effet perturber l'ensemble du processus de recyclage en aval. Cette contrainte génère parfois des tensions dans les relations entre trieurs et régénérateurs : « les recycleurs, à leur niveau, constatent des erreurs de tri ce qui détériore leur chaîne de recyclage » (entretien avec une animatrice Plastique, Ademe, 2022). En permettant d'intégrer un éventail plus large de plastiques dans le processus de collecte, ces évolutions ont néanmoins contribué à stimuler l'activité des trieurs. Ces derniers observent une augmentation notable des volumes triés depuis 2023, signe d'un dynamisme renouvelé (entretien, Fédération des recycleurs français, 2023). Cependant, cette croissance s'accompagne de défis opérationnels majeurs, en particulier dans la gestion des plastiques non recyclables ou ne disposant pas encore de filière de valorisation aboutie,

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

qui représentent une part non négligeable des déchets collectés, mais qui arrivent malgré tout aux portes des centres de tri.

Dans ce contexte, Federrec (*cf.* figure 41) joue un rôle structurant en regroupant une large diversité d'acteurs du recyclage en France, allant des entreprises de collecte et de tri des déchets à celles de valorisation, en passant par les recycleurs spécialisés et, depuis 2025, les entreprises du « réemploi » (d'où l'ajout d'un deuxième R). Sa mission principale est de fédérer ces différents acteurs afin de défendre leurs intérêts communs, tout en agissant comme interlocuteur privilégié des pouvoirs publics. L'organisation œuvre également à promouvoir des pratiques professionnelles harmonisées et à soutenir les membres du secteur dans leur adaptation au cadre réglementaire : « Federec met des moyens de dingues, ça coûte un bras pour défendre ses positions au niveau de l'État français et de l'Europe pour dire attention à ce que vous faites. Au niveau de l'Europe, cela se fait avec EURIC qui réunit les Federec européens et inclut tous les acteurs du recyclage » (entretien, Fédération des recycleurs français, 2023).

Ainsi, la circularisation des plastiques repose aujourd'hui sur un secteur en transformation, stimulé par la réglementation, mais encore confronté au défi de réceptionner et de créer des débouchés pour une part importante des plastiques collectés.



Légende :

Relations fonctionnelles

- Mandate
- Financement

Jeux d'acteurs

- Défense des intérêts
- Tensions
- Communication

Flux de matières plastiques

- Plastiques

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 41 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des collecteurs et trieurs des déchets

Les régénérateurs de « matières plastiques » et non de « déchets plastiques »

Le secteur français de la régénération des matières plastiques

Les régénérateurs interviennent dans un second temps de la chaîne de valeur. Les déchets sont d'abord triés dans les premiers centres de tri, puis mis en vente par des négociants de matières ou collectivités territoriales. Ils sont ensuite sur-triés et recyclés par les régénérateurs, qui transforment la matière en granulés de plastique recyclé, revendus ensuite aux plasturgistes.

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

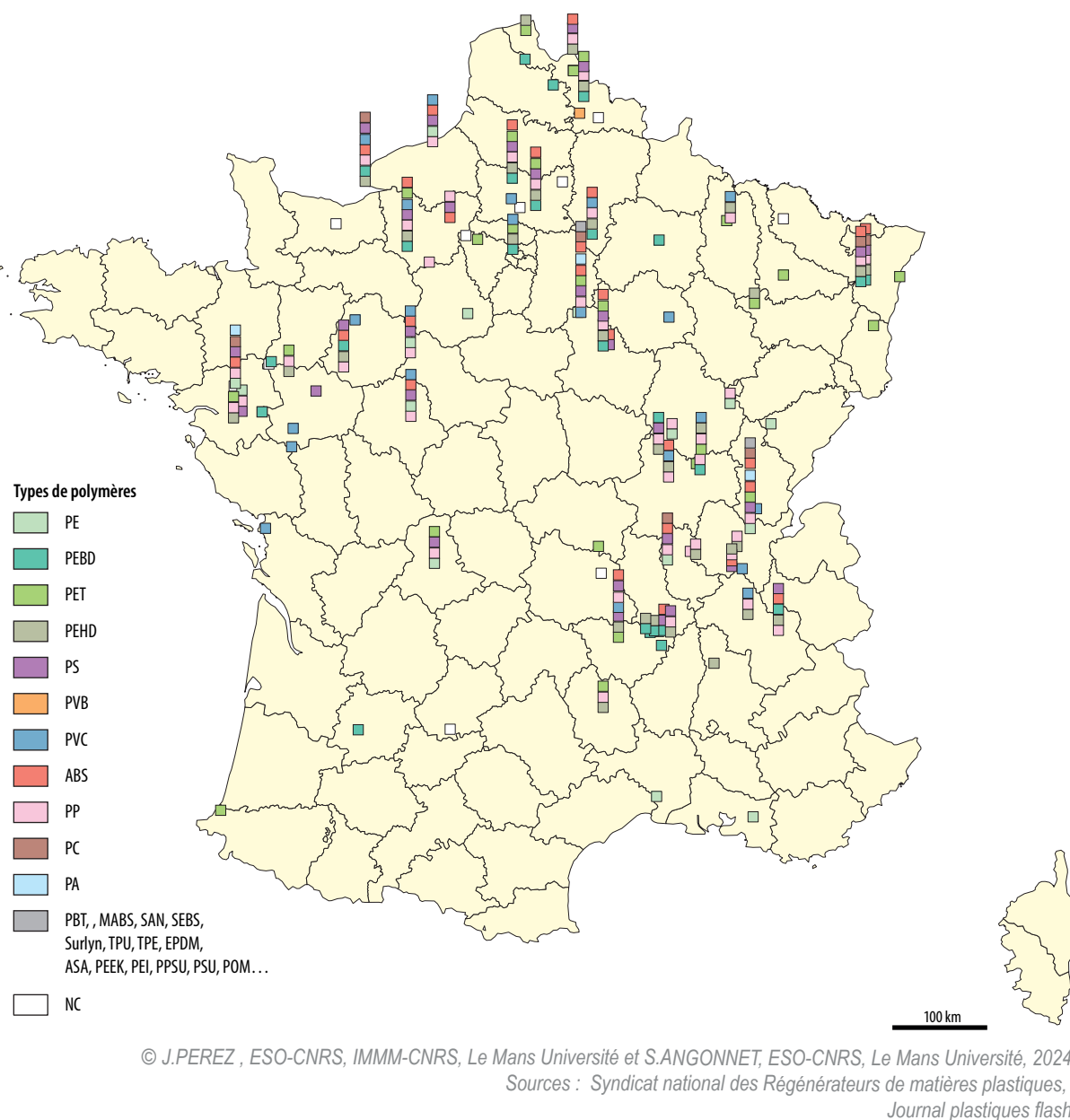
Le recyclage en France a connu une réorganisation significative depuis les années 1990 (entretien, Président de la Branche Plastique, Federec, 2022). Les petites structures de recyclage ont été progressivement rachetées par de grands groupes industriels, pour certains historiquement spécialisés dans le recyclage (Paprec, Derichebourg, etc.), pour d'autres traditionnellement plus spécialisés dans la gestion des déchets de façon plus large (Veolia, Suez). Cette période a marqué l'émergence des premiers spécialistes en recyclage, notamment des plastiques, l'exploration et la construction de filières nouvelles, cherchant à affiner les techniques de tri et de transformation des matériaux plastiques. Aujourd'hui, la carte 9 des régénérateurs de plastiques français met en évidence une organisation variée et régionalisée, reflétant les dynamiques spécifiques du secteur national du recyclage des polymères. Les régénérateurs de plastiques français se répartissent en deux grandes catégories, ayant chacun des stratégies et des capacités différentes. D'un côté, certains grands sites, dispersés sur le territoire, se distinguent par leur polyvalence. Ces infrastructures sont capables de traiter une large gamme de polymères, tels que le PE, PET, PP ou ABS. C'est par exemple le cas des sites Veolia (Veolia Ecoplastics¹⁷⁸ et Veolia PMG¹⁷⁹) dans le département de l'Oise, qui recyclent des déchets plastiques post-industriels et post-consommation. Ils traitent plusieurs types de résines (PEBD, PEHD, PP, PS, PET, ABS, entre autres) et les commercialisent sous forme de granulés. D'un autre côté, la majorité des régénérateurs se concentrent sur un ou deux types spécifiques de polymères, adoptant une approche spécialisée. Par exemple, certains sites se consacrent exclusivement au recyclage du PET, utilisé principalement pour les bouteilles plastiques, ou du PEHD, employé notamment dans les emballages rigides. Les deux résines, historiquement bien recyclées (PET et PEHD), demeurent encore aujourd'hui les principales filières de recyclage performantes.

La carte 9 montre également une répartition géographique inégale de ces infrastructures. Certains territoires ne disposent d'aucun site de recyclage, ce qui reflète une disparité dans l'implantation de cette activité industrielle. Ces zones sans régénérateurs, souvent moins urbanisées ou faiblement industrialisées, doivent exporter leurs déchets plastiques vers d'autres régions, ce qui allonge les circuits logistiques et augmente les coûts environnementaux et économiques. Par ailleurs, en examinant la concordance entre les régions à forte activité plasturgique (cf. carte 6) et la présence de sites de recyclage, on observe un lien partiel, mais pas systématique. Par exemple, des pôles industriels majeurs comme l'Ain, historiquement lié à la plasturgie, affichent une densité significative de régénérateurs, ce qui souligne une cohérence territoriale entre la production de plastiques et leur traitement en fin de vie. En effet, on remarque que les régénérateurs sont implantés à proximité des bassins industriels consommateurs de MPR. De même, des régions comme les Pays de la Loire ou le Nord, également connues pour leur activité dans la plasturgie, disposent d'un réseau de régénérateurs bien implanté. Cependant, cette relation n'est pas homogène à l'échelle nationale. Certaines régions avec une forte activité plasturgique, comme le Grand Est ou certaines zones de Nouvelle-Aquitaine, ne possèdent pas autant de sites de recyclage qu'on pourrait l'attendre.

Ainsi, le paysage du recyclage des plastiques en France est marqué par une forte hétérogénéité, tant en termes de capacités que de localisation.

178 <https://www.srprecycle.com/fiche-du-membre-actif/veolia-%E2%80%93-ecoplastics> consulté en septembre 2025

179 <https://www.plastiloop.veolia.com/pmg-froissy-france> consulté en septembre 2025



Carte 9 : Représentation des régénérateurs français et des résines recyclées

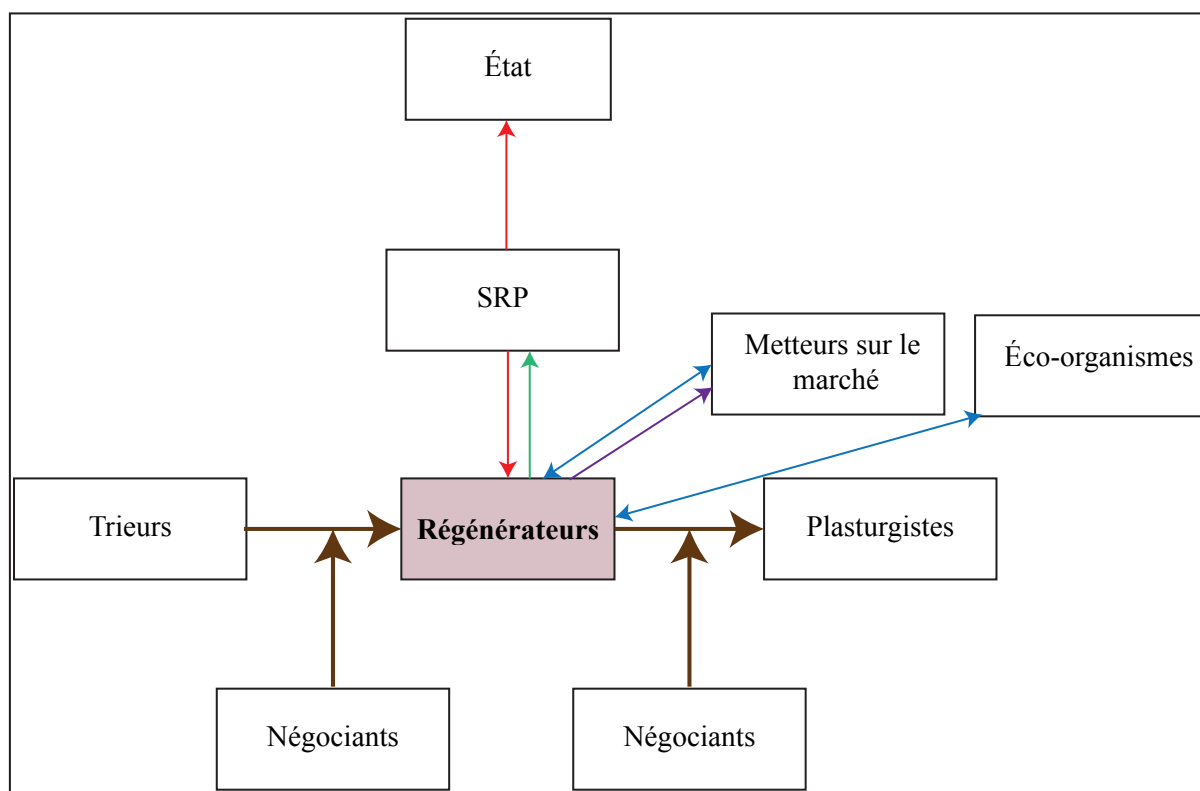
L'impact des évolutions réglementaires sur la reconfiguration des relations entre régénérateurs et acteurs de la chaîne de valeur du recyclage des plastiques

La réglementation vient également influencer les rapports entre les régénérateurs et les autres parties prenantes, dans la mesure où elle incite à développer le recyclage des matières plastiques, à trouver des solutions pour recycler des résines encore non valorisées et à incorporer des MPR, demandant ainsi aux régénérateurs d'adapter leurs pratiques, notamment en testant de nouveaux mélanges et en améliorant la traçabilité et la qualité des produits recyclés, afin de répondre aux exigences croissantes du marché et de la réglementation (observation terrain, colloque Tech'day Recyclage, Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022). Ces évolutions récentes contrastent fortement avec la situation passée, où la demande en résines

recyclées demeurait limitée et sectorielle : « avant cette évolution, il y avait seulement deux gros secteurs qui cherchaient des résines recyclées : l'automobile et le secteur des pots de fleurs. Ce n'était pas lié forcément à une demande réglementaire ni écologique, mais c'était lié à l'aspect esthétique. » (entretien avec un négociant de matières, Veolia, 2022). Désormais, l'ouverture de nouveaux débouchés et la montée des obligations transforment en profondeur la dynamique : « c'est un marché fou, dérégulé, mais porteur » (entretien avec un négociant de matières, Veolia, 2022), car « actuellement tout le monde cherche du gisement, surtout que c'est passé dans les mœurs, les industriels veulent mettre du recyclé et l'afficher sur leur emballage, ce qui n'était pas le cas il y a 10 ans en arrière, il y a un vrai changement de marché » (entretien, chargée de mission, Valorplast, 2022). Dans ce contexte, les régénérateurs doivent apprendre à s'acclimater à ces nouvelles pressions et à ajuster leurs pratiques pour rester compétitifs et répondre aux attentes croissantes des metteurs en marché. Ce processus d'adaptation redéfinit progressivement les relations entre les régénérateurs et les autres acteurs de la chaîne de valeur. Ainsi, les metteurs en marché, et notamment les marques de distributeurs, cherchent de plus en plus à collaborer directement avec les régénérateurs afin d'orienter leurs choix de conception, par exemple sur les types d'emballages à privilégier. Il convient toutefois de souligner que ces avancées restent inégales et que la collaboration entre recycleurs et metteurs sur le marché n'est pas encore optimale : comme le souligne Brice Lalonde (ancien ministre devenu consultant en environnement) (observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022), « aujourd'hui les recycleurs dépendent des producteurs de biens et produits », mais la réalité est que les ingénieurs chargés de la conception des produits n'ont que très peu en ligne de mire leur fin de vie. Cette absence de prise en compte des exigences de recyclabilité dès la phase de conception aboutit à la mise sur le marché de produits non recyclables, ce qui entrave bien évidemment leur cheminement en fin de vie vers les régénérateurs. Ceci est accentué par le fait qu'il existe souvent plusieurs années, voire plusieurs décennies pour certains produits (bâtiment, jouets, articles de bricolage...) entre la conception de ces objets et leur recyclage, ne jouant pas en faveur d'une connexion entre les acteurs situés en amont et ceux situés en aval de la chaîne. L'absence des régénérateurs lors des phases de conception des produits, ainsi que la difficulté de coordination avec les autres acteurs, reste des obstacles majeurs à surmonter pour garantir l'efficacité de la chaîne de recyclage.

Dans ce contexte, les régénérateurs français font valoir leur vision et leurs intérêts de façon organisée grâce au Syndicat national des Régénérateurs de matières Plastiques (SRP) (*cf.* figure 42), qui regroupe les entreprises spécialisées dans la régénération des matières plastiques en France. Les membres du SRP représentent environ 85 %¹⁸⁰ de la capacité nationale de régénération des déchets de matières plastiques.

180 <https://www.srprecycle.com/donnees-statistiques#:~:text=DONN%C3%89ES%20STATISTIQUES%20DU%20SRP&text=Les%20membres%20du%20SRP%20repr%C3%A9sentent,des%20MPR%20qu'ils%20produisent>. Consulté en septembre 2025



Légende :

- | | | |
|---------------------------------|------------------------|------------------------------------|
| <i>Relations fonctionnelles</i> | <i>Jeux d'acteurs</i> | <i>Flux de matières plastiques</i> |
| → Mandate | → Défense des intérêts | → Plastiques |
| | → Tensions | |
| | → Communication | |

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 42 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des régénérateurs

Le SRP, œuvre non seulement pour la défense des intérêts de ses membres, mais aussi pour l'amélioration des conditions de travail au sein de la filière, tout en sensibilisant les autorités publiques et les entreprises aux enjeux liés au recyclage des plastiques. Leur objectif est de favoriser l'activité de régénération de la matière plastique.

Un changement de vocabulaire pour légitimer la circularité des matières plastiques

Enfin, les régénérateurs de plastiques ne souhaitent plus être perçus uniquement comme des acteurs traitant des déchets, mais plutôt comme des professionnels qui valorisent des matières plastiques. Ce glissement de terminologie traduit ce nouveau contexte où la réglementation impose de nouvelles normes et pratiques, axées sur la valorisation des ressources et l'économie circulaire, plutôt que sur l'élimination des déchets : « le recycleur redonne de la valeur aux déchets » (Brice Lalonde, observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022). Arnaud Brunet, directeur général de Federec, va plus loin en déclarant (observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022) : « nous ne traitons pas des déchets, mais des matières ». Selon lui, il est essentiel de « revoir la définition du déchet », car, aujourd'hui, ce qui était autrefois considéré comme un simple déchet est perçu comme

Chapitre 7 - Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques

une ressource précieuse à réutiliser, où l'on voit « de la valeur et non des déchets ». Cette vision est d'autant plus importante que, comme le souligne Olivier François (Vice-Président d'EuRIC – Syndicat européen des recycleurs) observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022), les textes réglementaires et la législation en matière de déchets, tels que la Directive Cadre de 75, sont encore largement axées sur la gestion des déchets comme un problème à éliminer, plutôt que comme des matières à valoriser. Cette question de vocabulaire constitue également un sujet central dans les débats sur l'évolution de la profession. François Excoffier (Président de Federec) (observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022) souligne l'importance de « marquer la transition du tout éliminé vers le tout valorisé matières », affirmant qu'aujourd'hui, « le déchet n'est qu'un point de départ pour atteindre le statut de MPR ».

Toutefois, cette évolution de la profession reste partielle, car, dans les faits, le recyclage des plastiques n'est pas encore à son optimum. La filière de recyclage des plastiques reste immature comparée à d'autres, comme celles du ferraille ou du papier, en grande partie à cause de la diversité des résines plastiques, qui rendent le recyclage plus complexe (observation terrain, colloque Journée mondiale du recyclage, Federec, 2022). Cela freine le développement d'un marché homogène et performant pour les plastiques recyclés. Le défi principal à venir réside dans la coopération entre les producteurs, les recycleurs, et les autres parties prenantes de la filière plastique : « la coopération entre acteurs est un vrai sujet » (entretien, Président de la Branche Plastique, Federec, 2022) et les relations de travail entre producteurs et recycleurs sont cruciales pour garantir le succès de la transition vers une économie circulaire. Les relations inter-entreprises et la mise en place de contrats à long terme, moins marqués par la concurrence économique, sont essentielles pour créer des conditions favorables au recyclage et à l'incorporation de MPR (entretien, Président de la Branche Plastique, Federec, 2022).

En résumé, le secteur du recyclage des plastiques est en cours de transformation, non seulement par la pression réglementaire, mais aussi par un changement de perception des acteurs de la profession. De la gestion des déchets, on passe à la valorisation des matières plastiques, avec l'ambition de rendre le recyclage plus efficace et plus intégré dans l'économie de marché actuel. Toutefois, cette transition reste incomplète et nécessite une coopération renforcée entre les acteurs et un alignement des objectifs réglementaires pour mieux répondre aux enjeux actuels.

Chapitre 8 : La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours

La transition vers une économie circulaire représente un défi majeur pour la filière plastique, au cœur des tensions environnementales, économiques et réglementaires. Ce dernier chapitre met en lumière deux formes de résistances, centrales, qui structurent les dynamiques actuelles de cette filière, révélant la complexité des ajustements en cours face aux transformations imposées.

D'une part, les acteurs économiques et politiques des plastiques semblent réduire l'ambition de la circularité à une approche centrée sur le recyclage. En dépit de son rôle crucial, le recyclage n'en reste qu'un seul des sept piliers de l'économie circulaire, et apparaît ici comme un moyen de montrer des avancées tout en préservant la continuité des modèles productifs existants, plutôt qu'une étape vers une transformation systémique. Le réemploi et la prévention, pourtant essentiels pour atteindre une économie pleinement circulaire, restent relégués au second plan. Ce biais, loin d'accélérer une transition « authentiquement circulaire » (Arnsperger & Bourg, 2016), en bloque l'émergence et reflète une volonté implicite de maintenir un quasi statu quo, teinté d'avancées douces et discrètes vers la circularité.

D'autre part, cette réticence s'exprime aussi dans les interactions des acteurs avec les nouveaux cadres politiques et réglementaires. Si certains instruments réglementaires sont accueillis comme des leviers pour inciter au changement, d'autres sont perçus comme des menaces pour les intérêts des acteurs en place. Un paradoxe émerge : les régulations destinées à transformer la filière sont à la fois sollicitées et contournées, modifiées ou atténuées par des jeux d'influence, témoignant de stratégies visant à préserver les priorités des acteurs historiques du secteur et à perpétuer les activités économiques d'une part, les modes de consommation d'autre part, actuellement en place.

Ces deux dimensions, à travers lesquelles se manifestent résistances et ajustements, traduisent les tensions profondes d'une filière confrontée à la nécessité de se réinventer tout en restant ancrée dans ses logiques en fonctionnement. Nous illustrerons ce contexte en analysant les différentes visions de l'économie circulaire des plastiques à travers les discours des acteurs interrogés. Ces visions se déclinent selon plusieurs dimensions : elles varient d'une part en fonction du rôle occupé par chaque acteur dans la chaîne de valeur, de son positionnement et des intérêts qu'il défend ; d'autre part, elles reflètent des tensions liées aux échelles de mise en œuvre, qu'il s'agisse d'initiatives locales, nationales ou globales.

Une économie circulaire performative, non encore « authentique », des plastiques

La mise en œuvre concrète de l'économie circulaire des plastiques ne se fait que de façon très lente, avec une progression très subtile. La partie 2 de cette thèse a mis en évidence une circularité très faible. Si les objectifs réglementaires visent effectivement une gestion plus circulaire des flux plastiques à travers des objectifs comme l'augmentation des taux de recyclage, l'incorporation obligatoire de matières plastiques recyclées ou encore la réduction progressive de la mise en décharge, leur traduction opérationnelle dépend de nombreuses variables : les échelles d'intervention (locale,

nationale, globale), les types de matériaux/flux concernés, et la capacité des acteurs à coordonner leurs actions autour de solutions partagées.

En effet, l'économie circulaire « ne repose pas que sur des relations d'ordre technique. Elles s'appuient également sur des éléments qui relèvent davantage des dimensions sociales et organisationnelles, telles que la confiance entre acteurs, le partage de valeurs entre partenaires, des modes de coordination et d'organisation sophistiqués et une proximité géographique forte, qui permettent le bouclage des flux au niveau local » (Dermine-Brulot & Torre, 2020). Ces dimensions, bien que cruciales, demeurent parfois négligées dans les approches des acteurs qui privilégient des solutions purement techniques, telles que, par exemple, la maîtrise des procédés et de la qualité des MPR (observations de terrain, Tech'day Recyclage - Polyvia / ICAM/ Polymeris, 2022), ou encore l'écoconception des produits plastiques pour les rendre recyclables (entretien avec une ingénieure, Cotrep, 2022). Ainsi, pour ces acteurs économiques, la priorité est souvent donnée à l'amélioration des technologies de recyclage ou à l'optimisation des flux de matières, sans nécessairement prendre en compte les dynamiques sociales, organisationnelles et territoriales indispensables à une transition.

Les visions portées par les acteurs de la filière révèlent ainsi des divergences. D'une part, certains (tel que les recycleurs, régénérateurs et éco-organismes) mettent l'accent sur des aspects matériels et techniques, comme l'efficacité du recyclage ou l'innovation dans la gestion des déchets plastiques. D'autre part, d'autres (tel que les régions et l'Ademe) insistent sur les relations entre les acteurs, en soulignant l'importance des chaînes d'interdépendance entre eux. Les processus visant à réintégrer les flux de matières plastiques dans les circuits de production reposent sur des organisations souvent complexes, reliant différents acteurs au sein de réseaux d'interdépendance. Ces configurations s'appuient sur des interactions à plusieurs échelles, combinant des initiatives locales et des dynamiques globales. Cependant, au sein de ces chaînes, la prévention et la réduction des déchets plastiques restent encore en retrait, éclipsées par des priorités davantage centrées sur le recyclage et la valorisation des déchets plastiques.

Ces visions et discours des acteurs se heurtent à des tensions persistantes qui façonnent les pratiques des acteurs du secteur. Ces tensions traduisent les défis d'une mise en œuvre effective des principes de circularité, où les ambitions normatives rencontrent les réalités opérationnelles. Nous verrons que la réglementation constitue un levier essentiel pour impulser des transformations de pratiques, mais qu'elle génère aussi des réactions contrastées ainsi que des choix variés de coopération et d'actions concrètes de la part des acteurs.

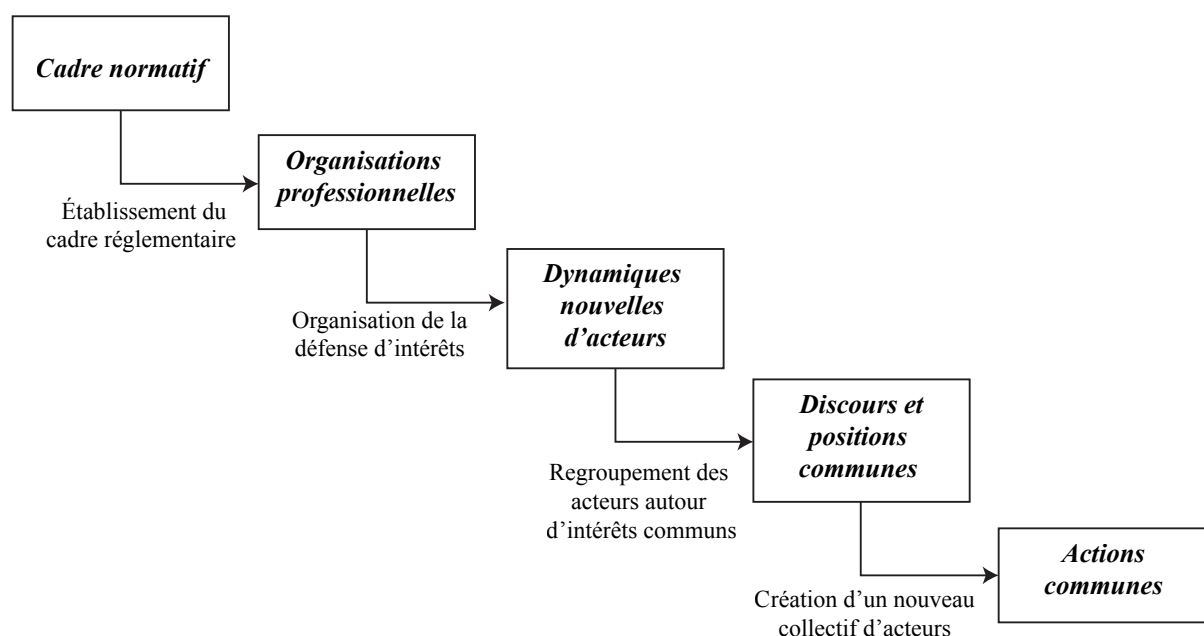
Le rôle central du réglementaire dans le passage du discours à l'action

Les politiques publiques s'emparent de la question de la fin de vie des plastiques à travers la règle des 3R « Réduire, Réemployer, Recycler » figée dans la loi à travers la hiérarchie des modes de traitement et affichent une volonté de circulariser davantage les flux de plastiques. Les leviers normatifs, reconnus comme essentiels par les acteurs du secteur, jouent pour eux un rôle déterminant pour impulser des changements concrets, « la prise de conscience, elle est bien-là. Le législatif est tout de même sacrement efficace » (Fédération des recycleurs français, entretien, 2023), « très clairement le réglementaire pousse et nous, en tant qu'acteur public qui accompagne le réglementaire c'est un vrai support pour nous pour les faire bouger, c'est indéniable » (entretien, Agence régionale de la

biodiversité et environnement, Région Sud, 2023). Ce cadre légal a déjà permis de mettre en œuvre des actions concrètes en faveur de l'économie circulaire des plastiques, à l'exemple de l'extension des consignes de tri en France et de la fermeture des frontières chinoises aux déchets plastiques. Ces mesures ont contraint les acteurs à repenser leurs pratiques. Comme le souligne Federrec (entretien, 2023) : « nous, les premiers, on se disait sur l'extension des consignes de tri que c'était nul, car on ne sait pas faire et ça nous embête de changer nos habitudes, ce n'est pas économique. Mais l'État a dit qu'il faut le faire. Quand la Chine dit qu'elle ferme, ça a mis le bazar pendant 1,5 ou 2 ans, mais aujourd'hui, on sait faire sans la Chine ».

Cependant les actions des acteurs touchés par ces réglementations se tournent majoritairement vers le dernier « R » (recycler), faisant de la prévention, qui correspond au premier « R » (réduire), la grande absente des priorités des acteurs économiques. Pourtant, elle constitue un levier fondamental pour diminuer l'impact environnemental global des plastiques. Elle est toutefois moins séduisante pour l'ensemble des acteurs, car elle implique souvent une transformation plus profonde des modèles économiques.

Certains acteurs (producteurs de résines, plasturgistes, metteurs sur le marché, recycleurs) dont les activités sont directement impactées par les nouvelles réglementations et les mesures de prévention des plastiques, en collaboration étroite avec leurs organisations professionnelles, mettent en avant la solution du recyclage comme un compromis acceptable entre maintien de leur activité économique et respect des cadres réglementaires. Le développement de nouvelles filières de recyclage des plastiques devient alors la solution privilégiée pour maintenir leur activité. Dès lors, un jeu d'acteur en cascade (cf. figure 43) se déploie.



© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024

Figure 43 : Un jeu d'acteurs en cascade en réponse à la mise en ordre réglementaire

Le point de départ de ce jeu d'acteur en cascade réside donc dans l'établissement d'un nouveau cadre réglementaire. Il constitue un moteur de transformation, mais soulève également des tensions, car il

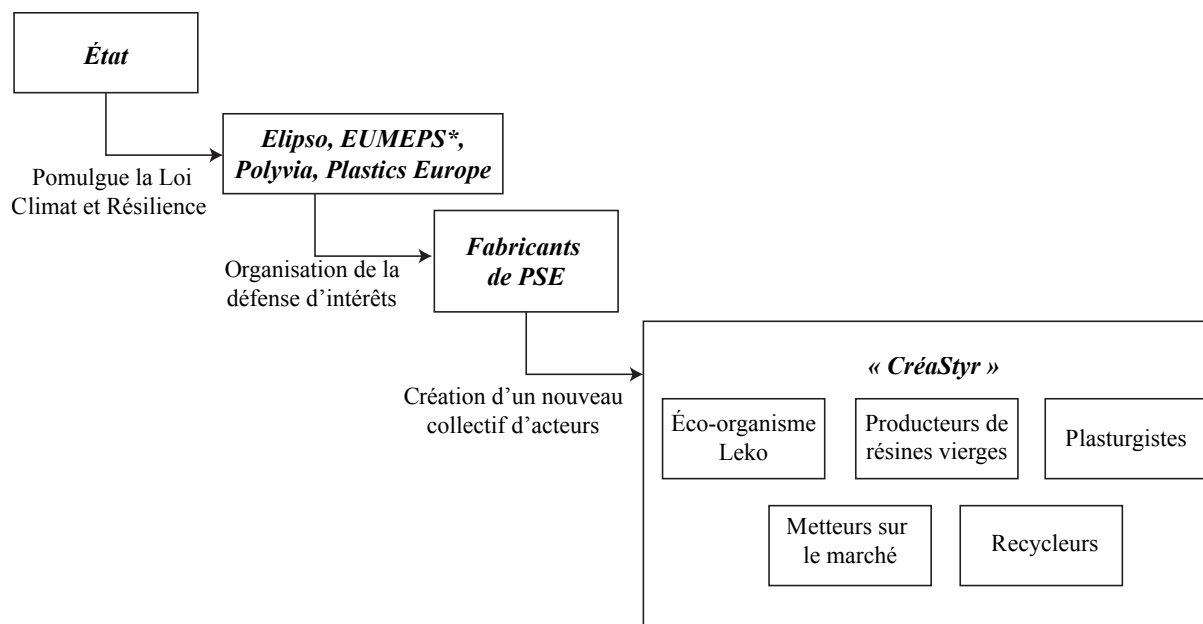
impose des changements structurels aux acteurs économiques. Son efficacité dépend largement de la capacité de ces acteurs à s'approprier et à traduire les prescriptions réglementaires en pratiques concrètes. Face à ces contraintes, les organisations professionnelles (Polyvia, SRP etc.) jouent un rôle central d'intermédiaire. Elles assurent la défense des intérêts de leurs membres dans la filière, notamment en négociant les modalités d'application des normes ou en influençant les pouvoirs publics par du lobbying : « on travaille avec les pouvoirs publics pour à la fois défendre nos industriels et pour que ces lois soient des objectifs et que les dispositifs soient réalistes et pas trop pénalisants du point de vue économique et socioéconomique. On forme aussi nos industriels au cadre réglementaire. Car il faut augmenter le recyclage et l'utilisation de matières recyclées et les accompagner dans cette évolution vers l'économie circulaire. » (entretien, Fédération professionnelle des régénérateurs, 2023). Nous constatons ainsi que, le levier normatif joue un rôle structurant, mais se heurte à des résistances significatives et organisées de la part des acteurs touchés par ces réglementations : « aujourd'hui les industriels utilisent les flous de ce qui existe dans la réglementation » (entretien, Agence régionale de la biodiversité et environnement, Région Sud, 2023). Un lobbying intense est alors mis en place, visant à modérer les contraintes normatives et préserver le plus possible les intérêts des acteurs. Les exemptions obtenues, comme par exemple : l'annulation du décret du 20 juin 2023 interdisant, à compter de juillet 2023, la vente au détail de fruits et légumes frais dans un emballage plastique¹⁸¹ ; l'absence de contrôles sur le respect des mesures réglementaires, qu'elles soient atteintes ou non (ZEROWASTE France, 2024) ; ou encore l'application très partielle de la loi AGEC imposant, depuis janvier 2023, l'interdiction de la vaisselle jetable et l'obligation de contenants réemployables dans la restauration rapide pour la consommation sur place. Dans les faits, de nombreuses chaînes et établissements indépendants continuent d'utiliser gobelets et barquettes en plastique jetables, faute de contrôles effectifs (ZEROWASTE France, 2024). Ces quelques exemples montrent clairement que cette stratégie fonctionne en permettant davantage la minimisation des impacts économiques pour les acteurs économiques qu'une véritable transition écologique : « c'est des acteurs qui sont en train d'être chamboulés complètement et qui vont devoir remettre en cause leur modèle global. Ça prend du temps, ils ont tout intérêt à repousser la réglementation sur le sujet » (entretien, Agence régionale de la biodiversité et environnement, Région Sud, 2023).

Ainsi, face à ces transformations, l'on observe un repositionnement des acteurs autour d'un objectif partagé par l'ensemble des parties prenantes : « ça reste une chaîne de valeur économique ou chacun à ces intérêts, mais il est vrai qu'on a sans doute au travers de cette transformation majeure vers l'économie circulaire un alignement plus fort et on le voit nous dans les relations avec les transformateurs, donc que ce soit Polyvia, Elipso même avec Citeo, il y a des sujets communs. On va se rassembler plus facilement qu'avant, autour d'un sujet, d'un objectif commun qui est majeur parce qu'il est essentiel à la survie de notre activité. De ce point de vue-là, je pense que ça améliore les relations ». Si les acteurs demeurent insérés dans une logique économique concurrentielle, la transition vers une réglementation davantage circulaire induit un alignement des intérêts entre acteurs. L'économie circulaire agit dès lors comme un catalyseur de nouvelles coopérations, favorisant le dépassement des logiques purement économiques : « historiquement, je dirais, avant l'économie circulaire, on était plus dans les relations clients-fournisseurs où les gens pouvait facilement se battre ou se fâcher parce que les prix sont trop élevés ou que la disponibilité n'est pas

181 <https://www.service-public.fr/particuliers/actualites/A16648> consulté en août 2025

bonne, etc., alors qu'aujourd'hui c'est beaucoup plus sur des sujets communs sur comment faire ensemble pour transformer notre industrie et l'amener à la fois sur la circularité et la neutralité carbone » (Fédération des producteurs européens de plastiques, entretien, 2023). Tout comme la précédente citation, on peut en déduire que l'économie circulaire commence à transformer les interactions entre les différents acteurs de la chaîne de valeur des plastiques. Elles tendent désormais à s'articuler autour de problématiques communes, telles que le développement de filières de recyclage. D'ailleurs, ce jeu d'acteurs en cascade est soutenu par des discours qui valorisent les progrès techniques du recyclage : « je ne suis pas un ayatollah du plastique, je vois ses défauts. Je suis très content des restrictions en disant il faut limiter la consommation de plastique ou obliger à de la réincorporation » (Fédération des recycleurs français, entretien, 2023).

Dans certains cas, ces coopérations aboutissent à la formation de collectifs spécifiques. Ces nouveaux regroupements d'acteurs élaborent des initiatives communes pour répondre aux exigences réglementaires. L'exemple de la filière styrénique (cf. figure 44), confrontée à l'interdiction progressive des emballages constitués de polymères ou de copolymères styréniques imposée par la loi Climat et résilience¹⁸², illustre bien cette dynamique. La réglementation agit ici comme un catalyseur, provoquant des interactions, des débats et des actions collectives entre les acteurs concernés. Dans ce cas-ci, la réglementation a initié une réorganisation des acteurs de la filière des plastiques styréniques (cf. figure 44), qui, considèrent la loi Climat et résilience comme une menace pour leur activité et se tournent vers des organisations professionnelles pour défendre leurs intérêts : « la loi Climat et Résilience nous a mis une épée de Damoclès sur le crâne » (entretien, directeur RSE, Knauf Industrie, 2023).



*Association européenne des fabricants de polystyrène expansé

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.

Figure 44: Jeu d'acteurs en cascade de la filière française des styréniques

182 Article 23 de la loi Climat et résilience du 22 août 2021, codifié à l'article L. 541-15-10 du code de l'environnement : « à compter du 1er janvier 2025, les emballages constitués pour tout ou partie de polymères ou de copolymères styréniques, non-recyclables et dans l'incapacité d'intégrer une filière de recyclage, sont interdits. »

Chapitre 8 - La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours

Par leur travail de défense des intérêts des fabricants de PSE (« On va interdire le polystyrène alors qu'il n'y a pas de raison, on dit qu'il n'est pas recyclable alors qu'il n'est pas recyclé. C'est des choses qu'on essaye d'argumenter, qu'on défend auprès des pouvoirs publics » (entretien avec un directeur Développement durable de chez Polyvia, 2022)), les organisations professionnelles Elipso, EUMEPS, Polyvia et Plastics Europe réussissent à avoir une proposition de révision de l'article de loi initial avec des modifications importantes¹⁸³ ; l'échéance de 2025 est reportée à 2030. Ensuite, le texte amendé supprime la mention de l'impossibilité d'intégrer une filière de recyclage, ne retenant que le critère de non-recyclabilité. Enfin, une nouvelle disposition limite l'interdiction des emballages en polystyrène (PS) non recyclables, en autorisant leur maintien sur le marché lorsque leur interdiction pourrait entraîner des risques pour l'environnement, la santé ou la sécurité. Ces évolutions traduisent l'efficacité du lobbying dans la capacité à infléchir la trajectoire réglementaire, tout en reconfigurant les termes du débat public autour de la recyclabilité du PS. Elles permettent, d'une part, de sécuriser temporairement la pérennité économique de la filière, et, d'autre part, de repositionner les styréniques comme matériau encore légitime dans la transition vers l'économie circulaire, dès lors qu'ils sont intégrés à des filières de recyclage.

Les acteurs vont également jusqu'à créer un groupe spécifique « CréaStyr » pour maximiser leur force contre cette loi : « Nous avons créé un groupe qui s'appelle CréaStyr et dont le but est de prouver que le polystyrène est collectable et recyclable » (entretien avec un chargé de mission chez Elipso, 2023). Ce groupe, rassemblant producteurs, plasturgistes, metteurs sur le marché, recycleurs et un éco-organisme (Leko¹⁸⁴), vise à prouver la faisabilité de la filière de recyclage des emballages styréniques : « CréaStyr créer une dynamique d'acteurs, car regroupe des acteurs et fait émerger des données pour avoir derrière de la robustesse sur l'information. On a toute la chaîne de valeur représentée, ça donne des échanges très constructifs. Bien sûr, il y en a qui sont en concurrence sur leur domaine d'activité, mais nous nous retrouvons sur un point : sauver la filière. » (entretien avec un chargé de mission, Elipso, 2023).

Ainsi, face au nouveau cadre réglementaire centré sur la circularité des matières plastiques, le développement de filières de recyclage apparaît comme la priorité stratégique des acteurs économiques, condition nécessaire à la pérennité de leurs activités. Néanmoins, en faisant cela, ils négligent les approches systémiques nécessaires pour intégrer pleinement la prévention et le réemploi. Cela pose la question de l'efficacité à long terme des politiques en place. En l'absence de mécanismes incitatifs ou coercitifs forts pour la réduction et le réemploi, ces dimensions restent marginales dans les stratégies industrielles.

183 <https://www.actu-environnement.com/ae/news/proposition-senat-report-interdiction-emballages-polystyrene-non-recyclable-44893.php4> consulté en décembre 2024

184 Leko est l'éco-organisme concurrent de Citeo, également positionné sur la filière française des emballages ménagers. Leko fait partie de CréaStyr : « Citeo a fait le choix de ne pas être dans le groupe. Seuls eux connaissent pourquoi ils écartent le PS (silence) » (entretien avec un chargé de mission chez Elipso, 2023). De son côté Citeo a créé une filière de recyclage chimique et mécanique des pots de yaourt en PS, effective en 2025 et compte l'élargir à d'autres emballages styréniques, tels que les barquettes en XPS et des éléments de calage en PSE : <https://www.citeo.com/interview-dun-expert/recyclage-des-pots-de-yaourt-et-autres-emballages-en-polystyrene-ou-en-est> consulté en septembre 2025

Des visions diversifiées de la circularité des plastiques

Dans le cadre des trente-cinq entretiens menés auprès des acteurs stratégiques de la filière des plastiques en France, plusieurs questions ouvertes (*cf.* annexe 1) ont été abordées pour recueillir leurs points de vue sur l'économie circulaire des plastiques et leurs implications concrètes dans cette démarche. Les interlocuteur·es interrogé·es ont été ainsi invité·es à réfléchir à l'impact que la notion d'économie circulaire a sur leur activité en termes de dynamisme et d'interactions entre acteurs au sein de leur filière, sur les disparités de maturité concernant l'engagement vers une circularisation des flux de matière, sur l'échelle appropriée pour développer une gestion plus cyclique des plastiques, sur la pertinence opérationnelle de ce concept selon les types de plastiques.

Notre analyse a révélé une diversité de perceptions de l'économie circulaire des plastiques qui varient selon les acteurs et leur rôle au sein de la filière. De cette analyse émerge un gradient dans l'appréciation que les acteurs ont de la réalité de la circularité des matières (*cf.* figure 45), allant d'une économie circulaire jugée pleinement effective, à une économie circulaire perfectible, voire à une économie circulaire considérée comme non effective.

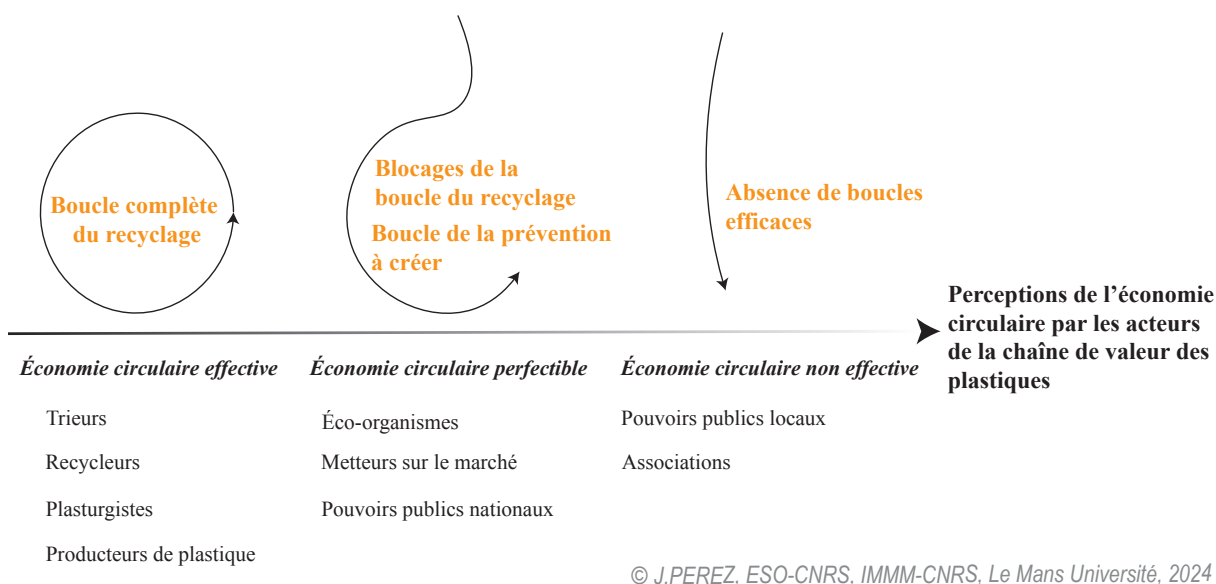


Figure 45 : Gradient de l'économie circulaire des plastiques

Cette variation de perception s'explique par le positionnement de chaque acteur dans la chaîne de valeur, ainsi que par les intérêts et les actions qu'il défend ou met en œuvre. Ceux qui se situent en amont (producteurs, metteurs sur le marché) ou au centre des dynamiques circulaires du recyclage des plastiques (trieurs, recycleurs, régénérateurs) tendent à souligner les efforts réalisés et les progrès déjà accomplis dans une approche tendancielle. En revanche, ceux confrontés aux limites du système, notamment sur le plan local (régions, syndicat des collectivités, associations), mettent davantage en lumière les insuffisances ou les défis encore à relever.

Les recycleurs et plasturgistes sont sincèrement convaincus d'œuvrer largement, aujourd'hui, en faveur de l'économie circulaire du plastique, puisque leurs pratiques passées l'étaient beaucoup moins, tout en étant conscients des limites de ces avancées et en ayant un regard plutôt d'acceptation sur le plastic-bashing ambiant (dont ils ne remettent eux-mêmes généralement pas en cause le bienfondé) :

« pour notre secteur, la question de l'économie circulaire et de la pollution de l'environnement par le plastique est un sujet central puisque c'est une question d'image de notre profession » (Fédération des transformateurs de polymères, entretien, 2022). Cette dernière citation montre bien que ce qui peut faire évoluer au premier chef ces acteurs est l'image qu'ils renvoient et donc la perception qu'on d'eux l'opinion publique (et donc les clients). D'autres acteurs affirment que « oui l'économie circulaire est bien mise en place, car il y a des filières de recyclage » (entretien, Recycleur, 2022), privilégiant l'existence d'une structure organisationnelle à la réalité des flux et limitant cette économie circulaire à son dernier pilier (théoriquement uniquement mobilisé lorsque les piliers précédents n'ont pas fonctionné). Cette vision, essentiellement axée sur le recyclage et la réincorporation des MPR, s'inscrit dans leur champ d'action directe et la perpétuation de leur activité économique. Pour garantir la réussite de cette boucle de recyclage, les plasturgistes soulignent l'importance d'une collaboration étroite avec les trieurs et les recycleurs, essentiels pour assurer la qualité des MPR : « les étapes de tri et de recyclage sont nécessaires pour garantir la qualité du MPR, il faut donc travailler avec les trieurs et les recycleurs » (entretien, Plasturgiste, 2022). Mais leur démarche ne s'arrête pas là. Conscients des réticences ou du manque d'information de certains clients, ils estiment indispensable de les « acculturer aux MPR » afin de les convaincre des avantages environnementaux et économiques de l'utilisation de plastiques recyclés. Le questionnement des plasturgistes reste donc essentiellement aval (le recyclage), mais très peu amont (l'écoconception ou la limitation du nombre de résines en circulation). D'autres acteurs, comme certains fabricants, éco-organismes et gestionnaires de déchets, soutiennent sincèrement que l'économie se circularise, notamment car, dans leurs pratiques quotidiennes, ils voient de petites évolutions, dont ils sont les acteurs au titre du développement du recyclage des plastiques. Par exemple, « le groupe Knauf a monté Knauf circular, c'est plus une initiative privée, pour aller collecter chez les détenteurs de déchets styréniques en provenance du secteur du bâtiment, de la grande distribution, des déchèteries et des industriels. Alors y a toute une logistique, on leur met à disposition un sac de 1000 L et puis on fait passer un camion. L'intérêt de la solution Knauf, c'est qu'on a mutualisé nos ressources avec nos collègues de l'industrie, ça permet de diminuer les coûts de transport, d'approvisionner nos propres usines en produits à recycler. Ça nous permet de réutiliser en boucle assez locale, du moins régional, de réutiliser ce gisement. » (entretien avec un directeur RSE de Knauf Industrie, plasturgiste, 2023). Ainsi, des initiatives concrètes voient effectivement le jour. Toutefois, ces démarches, bien qu'encourageantes, illustrent davantage des dynamiques locales et sectorielles de circularisation que l'avènement d'une économie circulaire généralisée à l'ensemble des plastiques et des territoires.

D'autres acteurs comme les pouvoirs publics, certains metteurs sur le marché ou associations, plus éloignés de la prise en charge concrète de la matière, ont une perception plus modérée concernant le niveau de circularité effectif, mettant en avant les freins hors de leur porté tels que, par exemple, l'écoconception des produits souvent limitée, ne permettant pas, même lorsque l'on récupère les matériaux, de les recycler. L'ensemble des filières industrielles de recyclage ne sont pas non plus pour le moment complètement développées, souvent par manque de rentabilité et de stabilité économique (fluctuation importante du prix des matières premières de récupération sur les marchés) ou de massification des gisements : « (...) encore une fois tout n'est pas rose, il y a encore beaucoup de difficultés et des questions de prix, de disponibilités des matières recyclées, etc., qui restent à solutionner pour intégrer une économie circulaire totale » (entretien, Metteur sur le marché, 2022).

De plus, certains acteurs soulignent une certaine dissonance entre les discours politiques et les résultats concrets sur le terrain : « on communique beaucoup sur l'économie circulaire, mais on n'arrive pas à avoir de réelles efficacités » (entretien, AMORCE, 2022). Cette différence entre les ambitions affichées et les défis pratiques est également renforcée par des visions non effectives de l'économie circulaire des plastiques : « non ! Il n'y a pas d'économie circulaire des plastiques en France. Pour moi, c'est un gros mot, car les plastiques et l'économie circulaire ne sont pas compatibles » (entretien avec un membre d'association, 2022).

Au final, ces difficultés structurelles amènent à des limites dans le développement d'une vision plus globale des flux (à l'échelle nationale), puisque chaque acteur reste contraint par les logiques de sa propre activité, avec peu de vision sur les enjeux d'ensemble (qu'il soit metteur sur le marché, recycleur, éco-organisme ou même association) : « nous, on a notre vision à nous d'entreprises du recyclage, donc chacun a une vision différente. On a du mal à dialoguer avec les associations, avec les collectivités... » (entretien, Fédération des recycleurs français, 2023). En conclusion de cette analyse, il apparaît que les discours des acteurs interrogés tendent en majorité à réduire l'économie circulaire des plastiques à une vision technique et centrée sur le recyclage, en oubliant d'autres dimensions, comme la prévention ou les dynamiques sociales et organisationnelles essentielles à la transition vers une circularité authentique.

Des initiatives de circulation des plastiques à l'échelle locale

Dans les discours des acteurs interrogé-es, l'économie circulaire des plastiques est souvent perçue comme imparfaite. Cependant, notre analyse de leurs discours met en évidence l'importance qu'ils-elles accordent à la performativité de leurs propos. Autrement dit, ils-elles soulignent leur rôle et celui d'autres acteurs de la filière dans l'influence concrète sur les pratiques et les progrès réalisés, notamment à travers des actions menées à différentes échelles territoriales : par exemple, des initiatives de réemploi à l'échelle locale et des actions de recyclage à l'échelle nationale montrent pour eux que l'économie circulaire des plastiques est bel et bien en action.

Lors des entretiens réalisés, plusieurs questions clés ont été posées concernant l'application scalaire de l'économie circulaire : à quelle échelle celle-ci est-elle pertinente pour les plastiques ? Les typologies de plastiques influencent-elles ces dynamiques ? Selon les points de vue des différents acteurs, les boucles de circularité doivent-elles s'inscrire dans une logique locale ou internationale ? Ou encore, la gestion de proximité des déchets plastiques est-elle envisageable, notamment à travers le développement de boucles de réemploi et de réutilisation ? De ces questionnements sont ressorties plusieurs formes de circularité des plastiques mises en avant par les acteurs. Trois boucles locales, en particulier, ont été identifiées comme des alternatives au recyclage classique : celle du déploiement du réemploi par les collectivités locales, les restaurateurs et autres entreprises engagées dans cette démarche, celle du recyclage low tech et hors des filières industrielles par le milieu associatif et enfin celle du recyclage des chutes industrielles par les transformateurs.

Le réemploi : l'échelle locale privilégiée

Le réemploi des plastiques est stimulé par une dynamique à double levier - à la fois réglementaire et sociétale. Sur le plan législatif, la loi AGEC fixe des objectifs, tels que la généralisation de l'usage

d'emballages plastiques réemployables dans la restauration commerciale dès 2023, et dans les cantines scolaires ainsi que dans les établissements de santé à partir de janvier 2025. Ces mesures visent à éliminer progressivement les plastiques à usage unique dans ces lieux, mais aussi pour la vente à emporter et le portage à domicile¹⁸⁵. Les collectivités locales sont appelées à accompagner ces démarches. Elles doivent non seulement veiller à la conformité des établissements à ces nouvelles exigences, mais également mettre en œuvre des dispositifs adaptés pour faciliter la transition. Cela inclut le soutien logistique, comme la mise à disposition d'infrastructures pour le lavage et la redistribution des contenants réemployables, ainsi que l'accompagnement financier et technique pour aider les établissements à s'équiper en matériels réutilisables. Dans ce contexte, les évolutions réglementaires se conjuguent à une prise de conscience croissante de la part des consommateurs, ce qui amplifie l'élan actuel en faveur du réemploi ; « Le réemploi est très boosté par la réglementation et par les consommateurs qui s'y intéressent aussi de plus en plus, ils se préoccupent de l'aspect déchet et de l'aspect sanitaire. Tout ça crée un contexte plutôt, comment dire, je ne veux pas dramatiser la situation c'est assez «grave». Il y a un aspect de gravité qui est très favorable au réemploi. » (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022). Cependant, le réemploi des plastiques exige une transformation des chaînes logistiques, de la production à la distribution. Or, les outils, standards et infrastructures nécessaires pour encadrer cette transition restent embryonnaires : « que ce soit en supermarché, en magasin, dans la distribution, dans l'industrie, on n'a pas encore mis les repères en place pour installer le réemploi dans ces environnements-là. Et pour autant, il y a une réglementation qui a été votée. Donc les clients (les professionnels) aujourd'hui sont perdus, il faut bien le dire, ils sont devant le fait accompli et ils ne savent pas du tout comment s'y prendre » (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022).

D'autant que le réemploi des plastiques fait face à plusieurs enjeux techniques, logistiques et économiques qui compliquent sa mise en œuvre à grande échelle, faisant que la réglementation avance plus vite que les dispositifs pratiques de réemploi. L'une des premières difficultés réside dans les limites techniques des plastiques eux-mêmes (entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022). Certains matériaux, comme le polypropylène, montrent une faible résistance à la chaleur, ce qui les rend susceptibles de se déformer à des températures supérieures à 80°C, rendant leur réutilisation compliquée. De plus, les plastiques sont poreux, ce qui les rend sensibles à l'absorption de couleurs et d'odeurs, et leur fragilité face aux chocs répétés compromet leur durabilité sur le long terme. À cela s'ajoute un autre défi majeur : la migration de substances chimiques depuis le plastique vers les aliments, une problématique qui soulève des questions de sécurité alimentaire et limite l'acceptabilité de ces matériaux pour des applications de réemploi, en particulier dans les secteurs sensibles, comme la restauration où l'emballage en est contact alimentaire direct (entretien avec un chercheur, laboratoire en science des matériaux, 2023). Enfin, les signes d'usure, tels que les rayures ou la décoloration des contenants, compliquent non seulement leur nettoyage, mais affectent aussi leur image. Ces imperfections peuvent être perçues négativement par les consommateurs, qui associent souvent l'usure à un manque d'hygiène (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022).

Du côté de la gestion logistique, la collecte et la gestion des contenants usagés représentent également un défi considérable. La mise en place d'infrastructures adaptées, telles que des stations de lavage ou des circuits de «reverse logistique» (logistique inversée), est essentielle pour garantir

185 <https://www.ecologie.gouv.fr/loi-anti-gaspillage-economie-circulaire>, consulté en août 2025

le bon fonctionnement du réemploi (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022). Cependant, ces infrastructures ne sont pas encore développées sur l'ensemble du territoire national. De plus, la gestion des flux de retour nécessite une optimisation pour éviter les trajets inutiles et limiter l'empreinte carbone, ce qui ajoute une couche de complexité à la logistique. Sur le plan économique, l'investissement nécessaire pour équiper les structures en infrastructures spécialisées, telles que des stations de tri, des meubles automatisés ou des systèmes de lavage adaptés, représente également une charge financière importante pour de nombreuses entreprises, en particulier les plus petites (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022). Enfin, le manque de standardisation des contenants réemployables constitue un obstacle majeur à la mise en place d'une logistique efficace. L'absence de formats et de matériaux universels complique l'interopérabilité entre les différents acteurs du secteur, rendant la gestion des flux plus complexe et empêchant la réalisation d'économies d'échelle. Une standardisation des contenants permettrait de rationaliser ces flux et de réduire les coûts associés au réemploi, facilitant ainsi la transition vers une économie circulaire plus performante et accessible (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022).

Aujourd'hui, les initiatives de réemploi des plastiques en sont donc encore majoritairement au stade expérimental. Les acteurs, bien qu'intéressés et/ou mis sous pression réglementaire (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022 ; entretien avec directeur écoconception, Citeo, 2022 ; entretien avec un directeur adjoint R&D, IPC, 2022), adoptent souvent une posture d'attentisme, scrutant les démarches d'autres entreprises pour évaluer leur succès ou leurs échecs avant de s'engager pleinement dans cette transition. Dans le secteur de la restauration rapide, par exemple, les restaurateurs indépendants ou les petites chaînes observent attentivement des géants comme McDonald's (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022 ; Moussa, 2022), qui ont mis en place le réemploi de leurs emballages sur place, avec des systèmes intégrés de collecte et de lavage. La réussite ou l'échec de ces initiatives est perçue comme un indicateur clé pour déterminer si de tels systèmes peuvent être viables pour eux, notamment en termes de coûts, de logistique et d'acceptabilité par les consommateurs. Cette prudence traduit une crainte des investissements initiaux et des risques liés à l'absence de standards bien établis dans le domaine. Pourtant, pour eux, si des leaders de marché comme McDonald's parviennent à structurer efficacement ces pratiques, cela pourrait créer un effet d'entraînement en instaurant des repères pour l'ensemble du secteur et en facilitant l'adoption du réemploi pour les restaurateurs de moindre envergure.

Bien que le réemploi des plastiques fait face à ses défis, il présente de nombreux avantages au niveau local qui méritent d'être soulignés. Dans certains secteurs, comme la restauration rapide et le portage à domicile, le plastique reste un matériau de choix en raison de sa légèreté et de son faible coût. Ces caractéristiques en font une alternative pratique au verre ou à l'inox, qui, bien que durables, sont souvent plus lourds et plus coûteux. L'un des aspects les plus intéressants du réemploi des plastiques réside dans sa capacité à générer des emplois locaux. Les activités liées au lavage et à la gestion des contenants réutilisables, telles que celles mises en place par des entreprises locales, sont des emplois non délocalisables qui renforcent l'économie de proximité. Ces métiers sont souvent adaptés à des personnes éloignées du marché du travail, ce qui permet d'offrir des opportunités d'insertion professionnelle dans des secteurs en pleine expansion et bien ancrés dans le tissu économique local (entretien avec une chargée de mission zéro déchets plastiques, Agence régionale de la biodiversité et environnement, région Sud, 2023). Enfin, le réemploi des plastiques facilite également des

Chapitre 8 - La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours

collaborations innovantes entre divers acteurs. Plasturgistes, centres de recherche et développement, fabricants d'étiquettes, collectivités, laveurs, etc., qui travaillent de concert pour concevoir des solutions adaptées au processus de réemploi choisi (entretien avec une ingénieure, laveur industriel, 2022). D'autres acteurs rentrent aussi en scène sur ce sujet ; les éco-organismes commencent à intégrer des initiatives spécifiques au réemploi des plastiques dans leurs missions. Par exemple, des projets pilotes sont lancés pour tester la viabilité économique et opérationnelle de circuits de réemploi dans des secteurs comme l'emballage alimentaire ou les contenants pour boissons (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022). Ceci est possible par le fond réemploi, alimenté par les contributions des éco-organismes dans le cadre de leurs obligations REP, ils financent des initiatives qui mettent en place ou renforcent des infrastructures nécessaires au réemploi. Cela inclut la création ou la modernisation de centres de lavage, le développement de nouvelles technologies de suivi des contenants via des systèmes numériques, ou encore le soutien aux entreprises locales qui adoptent des modèles économiques basés sur le réemploi, etc.

Ainsi, « les projets de réemploi fleurissent au niveau local et donnent un peu d'optimisme sur le sujet des plastiques » (entretien avec une Directrice des Affaires Juridiques, Réseau Vrac, entretien, 2023), ils apportent des solutions alternatives au recyclage ou au traitement des plastiques, favorisent les circuits courts, créent des emplois durables et renforcent l'économie locale. Ces projets pourraient ainsi dans le temps transformer la gestion des déchets plastiques et inspirer des pratiques pérennes à une échelle nationale, voire internationale.



Ces dernières années, la loi Anti-gaspillage pour une économie circulaire et les attentes des citoyens ont accéléré cette évolution vers l'usage multiple, via le réemploi. C'est l'un des piliers de la démarche 3R, et l'une des solutions pour réduire les impacts des emballages sur la planète.

© J.PEREZ, ESO-CNRS, IMMM-CNRS, Le Mans Université, 2024.
Salon du Vrac et du réemploi, 2023.

Photographie 7 : Communication sur le réemploi

Des boucles courtes de recyclage

En plus du réemploi au niveau local, des boucles courtes de recyclage se mettent en place. Notamment pour les déchets plastiques post-industriels comme les chutes de production. Depuis 2021, les industriels adoptent de plus en plus de nouvelles pratiques pour valoriser ces déchets internes, tels que les carottes de production et les chutes de thermoformage. Ces matériaux, auparavant vendus à des recycleurs externes, sont désormais intégrés dans des boucles courtes. Les entreprises collaborent toujours avec des recycleurs, mais, sur la base d'un nouveau partenariat où leur matière, après avoir été broyée et recyclée, leur revient et est réintégrée dans leur chaîne de production (entretien, Recycleur, 2022). Certaines grandes entreprises vont plus loin en installant des unités de recyclage directement dans leurs sites de production. Cela leur permet de traiter leurs déchets à la source, favorisant une boucle de recyclage internalisée et immédiate (Fédération des transformateurs de polymères, entretien, 2022). Malgré ces avancées, les boucles courtes de recyclage restent aujourd'hui principalement applicables aux déchets post-industriels, c'est-à-dire non souillés ni mélangés, et à certaines résines spécifiques. Bien que l'idée d'un recyclage d'un plus grand nombre de résines plastiques à échelle locale soit attrayante, elle se heurte à des limites dues à la diversité des résines et aux besoins de massification des volumes. Pour certains types de plastiques, il est indispensable de privilégier un regroupement régional, voire même national, afin d'assurer une massification suffisante et de disposer des infrastructures adaptées pour traiter chaque type de matériau (entretien avec une chargée de mission économie circulaire, Région Pays de la Loire, 2023 ; entretien avec le Président de la branche Plastique, Federec, 2022 ; entretien avec le Directeur Développement durable de Polyvia, 2022). C'est en se basant sur ces critères que de nombreux acteurs interrogé-es sont convaincu-es que l'économie circulaire des plastiques se joue principalement à l'échelle nationale et via les filières de recyclage mécanique industrielles développées : « aujourd'hui, l'économie, elle est circulaire au niveau de la France parce que les déchets qu'on reprend de l'ouest vont principalement dans les usines de recyclage qu'on a à l'est. » (entretien avec une chargée de mission, Valorplast, 2022).

Un recyclage hors filière et low-tech possible

Pour contrer ces obstacles, des filières classiques de recyclage, des initiatives de recyclage des plastiques hors filières et low-tech se développent au niveau local et notamment par l'impulsion du réseau associatif Precious Plastic. Créé en 2013 par le designer néerlandais Dave Hakkens, ce projet collaboratif et mondial vise à démocratiser le recyclage plastique hors des filières conventionnelles. Precious Plastic repose sur un modèle open-source, mettant à disposition des plans et des tutoriels pour fabriquer des machines simples et abordables pour recycler les plastiques, tels que des broyeurs, des extrudeuses, des presses par injection et des fours. Ces outils permettent de recycler localement des plastiques souvent exclus des circuits industriels, tout en favorisant la sensibilisation sur la pollution plastique à un large public. En France, la communauté Precious Plastic est particulièrement dynamique, avec une trentaine de projets répartis sur le territoire. Ces ateliers locaux transforment les déchets plastiques en objets utiles ou décoratifs, illustrant le potentiel des approches low-tech pour valoriser les gisements de déchets plastiques, les vendre au niveau local et créer des partenariats avec les pouvoirs publics locaux et les entreprises locales. L'exemple de Precious Plastic Touraine, illustre parfaitement ce mouvement. L'association a mis en place une mico-usine qui a pour vocation de recycler les déchets plastiques en circuit court, dans un rayon de 50 kilomètres autour de son site

Chapitre 8 - La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours

de production. D'ici 2025, elle vise un objectif ambitieux : traiter une demi-tonne de plastique par semaine. Les activités de cette initiative viennent compléter les efforts des services publics et des entreprises spécialisées dans la gestion des déchets plastiques, sans entrer en concurrence directe avec eux. La micro-usine se concentre sur les types de plastiques non pris en charge par les infrastructures existantes, souvent destinés à l'incinération ou à l'enfouissement. En valorisant ces matières au plus proche de leur origine, elle souhaite limiter les impacts environnementaux liés au transport et proposer une solution pour réduire les déchets plastiques non recyclés localement. La micro-usine prend en charge une diversité de déchets plastiques : bouchons alimentaires, contenants de produits d'hygiène, équipements tels que des canoës usagés, masques anti-COVID, ou encore des emballages fournis par des entreprises locales. Ces matières premières sont principalement issues de dons, permettant de créer un réseau collaboratif autour du recyclage. (Boussard, 2022 ; Daniel, 2023 ; observation de terrain, Precious Plastic Touraine, 2022).



© Precious Plastic Touraine.

Photographie 8 : Exemples de plastiques recyclés par Precious Plastic Touraine

En conclusion, l'économie circulaire des plastiques en France évolue entre des initiatives locales et des dynamiques globales, chacune répondant à des enjeux spécifiques. Les projets locaux de réemploi gagnent en importance, soutenus par une réglementation favorable, et ceux de recyclage local démontrent la viabilité de circuits alternatifs en dehors des filières industrielles traditionnelles de recyclage mécanique.

Conclusion de la partie 3

Nous avons pu interroger des producteurs de résines, des transformateurs, des metteurs sur le marché, des pouvoirs publics, des gestionnaires de déchets et des acteurs de la société civile. Les résultats montrent que le recyclage des plastiques reste encore limité, bien que la tendance dominante vise à renforcer son développement. Les efforts se concentrent principalement sur les filières de Responsabilité Élargie des Producteurs (REP) et sur l'utilisation des Matières Plastiques Recyclées (MPR), ce qui oriente la transition vers une amélioration du recyclage, sans toutefois aborder pleinement la prévention de l'usage des plastiques. Cela suggère que nous nous dirigeons vers une transition socio-écologique partielle, où le recyclage est favorisé, mais sans une véritable réduction globale de l'utilisation du plastique.

Afin de se mettre en conformité avec les nouvelles réglementations (loi Climat et Résilience de 2021 et la loi AGEC de 2022), les acteurs de la chaîne de valeur des plastiques appliquent un discours et des actions en faveur du développement du recyclage. Il s'agit là toutefois pour le moment largement d'une dynamique performative, avec une réelle volonté de questionner les pratiques, mais sans pour le moment de résultat tangible en termes de circularité des flux. Les acteurs industriels disent eux-mêmes n'agir que sous la contrainte économique et/ou réglementaire, que seule la pression sociétale peut faire évoluer. Les analyses métaboliques réalisées montrent les faibles quantités réellement recyclées par rapport aux quantités utilisées et jetées. Le potentiel est donc encore grand pour considérer l'économie circulaire des plastiques comme effective.

La gestion du recyclage, pilotée par les éco-organismes sans que ceux-ci n'aient réellement de poids auprès de leurs adhérents/actionnaires pour imposer des critères plus favorables au recyclage (encore moins à la réduction), interroge la régulation des plastiques en fin d'usage. La logique privilégiée chez les fabricants de polymères et les metteurs sur le marché reste techno-solutionniste, cherchant le plastique qui pourra le mieux répondre aux enjeux environnementaux, notamment ceux du recyclage. Le discours performatif vient accompagner cette projection sans questionner fondamentalement les pratiques, ni des fabricants, ni des consommateurs, justifiant ainsi la perpétuation d'une forte consommation de plastique. Il est donc difficile d'imaginer de tendre vers une économie « authentiquement circulaire » (Arnsperger & Bourg, 2016) des plastiques, puisque leur réduction et leur réutilisation, théoriquement prioritaires sur le recyclage au titre de la hiérarchie des modes de traitement, ne sont pas encore au centre des préoccupations. Au-delà même des effets limités sur le recyclage des plastiques qu'ont eus les filières REP mises en place depuis 30 ans, elles ont offert une justification à l'accroissement de la consommation de plastiques et à la multiplication de ses usages. Si la loi AGEC impose aux éco-organismes d'enfin prendre en considération les questions de réduction des déchets, les politiques publiques restent centrées sur la question du recyclage (avec par exemple l'existence d'une Stratégie Nationale d'Accélération du recyclage).

La conclusion principale du texte consiste à révoquer l'existence d'une économie circulaire majeure du plastique, du fait notamment d'une inadéquation entre la diversité des matières et les techniques existantes de recyclage. L'économie circulaire des matières plastiques apparaît alors davantage comme un énoncé à visée performative que comme une réalité tangible.

Conclusion générale

L'ambition de cette thèse est de contribuer à une meilleure compréhension des circulations des plastiques en France. Elle met en évidence que le système sociotechnique en place connaît des bouleversements importants, liés à la fois au renforcement des dispositifs réglementaires issus de la montée en puissance de l'économie circulaire et au contexte social marqué par la problématique de la pollution plastique. Ces évolutions ne traduisent pas une transition nette, mais relèvent plutôt, pour l'heure, une double continuité : d'une part celle de la production et de la mise sur le marché des produits plastiques, d'autre part celle du développement des filières de recyclage, le tout au détriment des démarches de réduction. L'économie circulaire des matières plastiques semble ainsi davantage relever d'un énoncé à visée performative que d'une réalité concrètement observable, tant dans les données chiffrées que dans les actions et discours des acteurs.

Les contributions de la recherche

Les apports d'une recherche interdisciplinaire

Cette recherche est le fruit d'une collaboration interdisciplinaire originale, qui paraît importante à mettre d'emblée en avant pour conclure ce manuscrit. En effet, l'interdisciplinarité mise en œuvre constitue, à nos yeux, un résultat à part entière de ce travail. Plus précisément, l'interdisciplinarité « rudochimique » qui a accompagné l'ensemble de la recherche a constitué un véritable « terrain dans le terrain ». Elle a impliqué l'apprentissage d'un nouveau langage, notamment des notions spécifiques liées aux polymères, la découverte des méthodes de recherche propres aux sciences des matériaux, ainsi que l'adoption de nouvelles manières de considérer l'objet scientifique « plastique ». Cette démarche interdisciplinaire a profondément influencé notre rapport aux plastiques et enrichi notre analyse. Elle a permis d'élargir le champ de vision et, ce faisant, les connaissances. Pour une doctorante venant de la géographie et de la rudologie, oser s'aventurer du côté des sciences des matériaux en explorant les recherches menées dans ce domaine, assister aux conférences de collègues, observer leur travail au sein des laboratoires de chimie, échanger et débattre avec eux : toutes ces expériences ont offert la possibilité d'aborder les circulations des matières plastiques de manière plus globale et complète, depuis les processus internes propres à ces matériaux, jusqu'aux dynamiques extérieures.

Cette interdisciplinarité a façonné une manière de faire de la recherche. Travailler en collaboration et s'intéresser à ce qui se fait en dehors de sa propre discipline paraît aujourd'hui à la fois naturel et essentiel.

Au-delà des apports scientifiques, c'est également une aventure humaine entre chercheur-es qui restera comme l'un des héritages les plus marquants de cette expérience doctorale. Travailler en étroite collaboration avec deux équipes de recherche donne l'opportunité d'observer concrètement les dialogues entre les sciences humaines et sociales (SHS) et les sciences des matériaux. Les analyses issues des SHS, qu'il s'agisse de la compréhension des circulations de matières, de l'étude des systèmes d'acteurs, de la prise en compte des cadres réglementaires ou des politiques publiques, se sont révélées essentielles pour nourrir et élargir les questionnements propres aux sciences des

Conclusion générale

matériaux quant à leur inclusion dans un tout sociétal. À l'inverse, les apports plus techniques des sciences des matériaux ont permis de mieux comprendre la nature et le comportement physico-chimique des plastiques impactant la structuration des filières. Cette complémentarité disciplinaire illustre toute la richesse des approches croisées et démontre que les grands enjeux scientifiques et sociétaux ne sauraient être saisis par une seule discipline.

Les apports d'une lecture complexe des plastiques

Le parti pris de cette thèse est d'étudier les plastiques en tant qu'objets complexes. Ceux-ci peuvent être définis comme des événements qui ne peuvent être appréhendés à travers une seule dimension ou une seule discipline, car ils mobilisent une pluralité d'échelles, de dynamiques et d'acteurs. Les plastiques correspondent à ces caractéristiques. Leur complexité réside à la fois dans leur diversité chimique et physique, mais aussi dans les multiples enjeux environnementaux, économiques, sociaux, territoriaux et sanitaires qu'ils soulèvent.

En effet, nous avons pu montrer que les plastiques regroupent une vaste gamme de polymères, dont les propriétés, usages et durées d'usages varient considérablement. Leur cycle de vie, de la production à l'élimination, implique des infrastructures techniques, des relations entre différents acteurs et des problématiques de gestion de ces flux qui s'entrelacent. Cette intrication a conduit à l'émergence d'une communauté scientifique internationale et pluridisciplinaire, qui étudie les plastiques sous divers angles : pollutions dans les milieux aquatiques, sols et atmosphère, impacts sanitaires, enjeux sociaux et politiques, entre autres. Toutefois, malgré cette abondance de travaux, les plastiques demeurent difficiles à saisir dans leur globalité.

C'est dans cette perspective interdisciplinaire que s'inscrit la première partie de cette thèse. Elle vise à poser le cadre du système sociotechnique complexe des plastiques, montrant qu'il est indispensable d'adopter une approche interdisciplinaire pour mieux les comprendre et les analyser. Elle s'attache ainsi à en souligner leur double dimension : matérielle et sociale. La dimension matérielle s'exprime à travers les flux qu'elles représentent et la diversité de leurs compositions physico-chimiques. La dimension sociale, quant à elle, se manifeste par les enjeux politiques qu'elles suscitent et la mobilisation d'acteurs aux rôles, attentes et pouvoirs divergents. Dans cette optique, nous avons abordé les plastiques à la manière d'objets techniques (Akrich, 2010), c'est-à-dire comme des configurations matérielles qui organisent à la fois le monde physique et social, en attribuant des positions et des fonctions spécifiques aux différents acteurs impliqués.

Les apports d'une double lecture métabolique des flux plastiques

Cette étude sur le métabolisme territorial des plastiques à l'échelle métropolitaine française, a été conduite en adoptant une approche à la fois quantitative et qualitative. Elle s'appuie particulièrement sur deux écoles de pensée : la *Political Industrial Ecology* (PIE) et l'écologie territoriale (ET). Inscrire ce travail dans ces cadres théoriques a permis, d'une part, de justifier le recours à une méthodologie mixte articulant données quantitatives et enquêtes de terrain auprès des acteurs de la chaîne de valeur. Ainsi, l'analyse quantitative réalisée s'est appuyée sur l'exploitation de jeux de données publiques, issus de sources institutionnelles et économiques, tandis que l'analyse qualitative a reposé sur la conduite de trente-cinq entretiens semi-directifs avec des acteurs de la chaîne de valeur des plastiques. Elle a notamment permis d'élargir et de compléter la portée de l'analyse quantitative. Et d'autre part,

au niveau de l'interprétation des résultats, l'écologie territoriale, a permis de comprendre la dimension spatiale et socio-économique de ces flux, en les inscrivant dans des trajectoires territoriales spécifiques et en révélant les interdépendances entre les acteurs de la filière. Ensuite, grâce à l'approche de la PIE, les flux matériels ont été replacés dans les dynamiques politiques, en mettant en évidence les rapports de pouvoir, les arbitrages réglementaires et les logiques d'acteurs qui structurent la gestion des plastiques.

Cette approche a permis de comprendre un système où la matérialité des flux ne peut être dissociée des jeux d'acteurs, des conflits d'intérêts, des stratégies industrielles et des imaginaires collectifs qui conditionnent leur évolution. Cette double perspective ouvre enfin des pistes de réflexion sur les marges de manœuvre possibles pour la transition écologique, vers davantage de circularité, en montrant que celle-ci repose autant sur des transformations techniques que sur des reconfigurations politiques et d'acteurs.

Les apports d'une analyse quantitative

En définitive, l'analyse quantitative des flux plastiques en France permet de confirmer l'hypothèse initiale : les circulations de plastiques sur le territoire s'inscrivent encore très majoritairement dans un modèle linéaire, traduisant une forte inertie face à la transition vers l'économie circulaire, malgré des évolutions lentes mais régulières à noter. Si les résultats révèlent une progression statistique entre 2018 et 2022, la circularité demeure faible : en 2018, seuls 622 kt de plastiques ont été recyclés sur 5 599 kt consommés, soit un taux effectif de recyclage de 17 % des déchets générés. En 2022, malgré une légère hausse des volumes (641 kt recyclés mécaniquement), le taux global de recyclage reste marginal (20 %), et ce, dans un contexte d'augmentation continue de la consommation (+24,4 % entre 2018 et 2022) et des déchets produits (+11,5 % sur la même période). Cette progression reste donc insuffisante pour compenser la croissance des flux.

L'analyse détaillée des trajectoires en fin d'usage des plastiques met en évidence un déséquilibre persistant : la majorité des déchets plastiques continue en France d'être orientée vers la valorisation énergétique et le stockage, tandis que le recyclage et la réincorporation de matières plastiques recyclées conservent un rôle secondaire. En 2022, les collectes séparées ont permis d'orienter 837 kt vers le recyclage, mais leur volume a diminué par rapport à 2018 (-34 %), au profit de l'incinération et de l'enfouissement. L'addition au stock a parallèlement augmenté (+18,7 %), révélant une consommation et une accumulation croissante de plastiques dans les sociétés qui se traduira à terme par de nouveaux déchets. Si de nouvelles circulations sont apparues en 2022 (recyclage chimique, plastiques biosourcés, recyclage de déchets post-industriels), elles ne modifient que marginalement la structure globale des flux. Par ailleurs, le secteur des emballages reste le principal contributeur au recyclage, alors que d'autres secteurs, tels que l'agriculture, les DEEE ou les sports et loisirs affichent encore des performances très faibles. Ces inégalités sectorielles limitent la capacité du système à évoluer vers une circularité plus large, même si le développement des nouvelles filières REP pourrait, à l'avenir, modifier cette dynamique.

En parallèle, la France apparaît comme un hub d'échanges internationaux de résines et de produits plastiques plutôt qu'un territoire autosuffisant. En 2022, 88 % des résines produites sur le sol national ont été exportées, tandis que les transformateurs ont massivement recouru aux importations (5 014 kt). Cette dépendance aux résines vierges importées, déjà marquée en 2018, s'est accentuée

Conclusion générale

(86 % des flux entrants en 2018 contre 89 % en 2022), fragilisant la compétitivité des matières plastiques recyclées françaises face à des granulés vierges importés à bas coût, notamment en provenance de Chine.

La quantification réalisée dans ce travail constitue une première représentation exhaustive du métabolisme des plastiques en France. Elle rend visible des circulations souvent présentées de manière biaisée par les acteurs publics et économiques, qui tendent à surestimer la circularité réelle des flux. Cette mise en perspective révèle la contradiction entre le discours affiché et la réalité des pratiques, notamment liée à la perception qu'ont ces acteurs d'une évolution des pratiques et des référentiels dans leur quotidien sur ce sujet : derrière l'image d'un système circulaire, la linéarité domine toujours.

Cette linéarité effective contraste avec les ambitions proclamées d'économie circulaire. Elle illustre à la fois la résistance matérielle des plastiques, dont la diversité chimique limite fortement le recyclage, et la faiblesse structurelle des filières nationales, encore trop peu développées pour réincorporer massivement les matières recyclées au sein de nouveaux produits. Dans un contexte de croissance continue de la production et de la consommation, cette inertie renforce la dépendance aux modes de gestion linéaires, fondés sur la valorisation énergétique, le stockage et l'importation de résines vierges, au détriment des stratégies de réduction, de réutilisation et de réemploi.

Les apports d'une analyse qualitative

L'analyse qualitative menée auprès des différents acteurs de la filière plastique met en évidence une reconfiguration progressive, profondément ambivalente des représentations, des pratiques et des rapports de pouvoirs autour des flux et de leur fin d'usage. Interrogeant des discours, des stratégies et des actions de ces acteurs, permet de mieux comprendre comment la transition vers une économie circulaire se construit et se heurte à ses propres limites.

Les résultats confirment d'abord la deuxième hypothèse : les nouvelles réglementations, les discours politiques et les engagements affichés autour de la circularité participent à une redéfinition symbolique du devenir des plastiques. Le recyclage est promu comme figure centrale de la circularité, mais cette focalisation, loin de traduire une transformation systémique, renforce au contraire certaines logiques linéaires préexistantes. Les flux de plastiques sont ainsi représentés de manière « très circulaire » dans les discours et schémas produits par les acteurs, alors que les données montrent des tonnages recyclés très faibles au regard des quantités consommées et jetées. Cette dissonance révèle le caractère performatif du discours sur la circularité : elle manifeste une volonté de conformité réglementaire et de légitimation sociale, plutôt qu'une réelle remise en cause du modèle productiviste.

Les pratiques concrètes observées, différenciées selon le rôle des acteurs (producteurs, metteurs sur le marché, gestionnaires de déchets, pouvoirs publics, société civile), traduisent cette tension. Si certains acteurs expérimentent des initiatives locales de réduction ou de réemploi, la plupart demeurent engagés dans des trajectoires d'ajustement minimal, guidées par des contraintes économiques, techniques et réglementaires plus que par un véritable engagement écologique.

L'analyse confirme également la troisième hypothèse : la réorganisation actuelle des flux plastiques s'accompagne d'une recomposition des rapports de pouvoirs au sein de la filière. Certains acteurs - producteurs de résines, plasturgistes, metteurs sur le marché ou recycleurs - dont les activités

sont directement affectées par les nouvelles réglementations et les mesures de prévention, s'appuient étroitement sur leurs organisations professionnelles pour promouvoir le recyclage comme un compromis acceptable entre maintien de leur activité économique et respect des cadres réglementaires. Le développement de nouvelles filières de recyclage devient dès lors la solution privilégiée pour assurer la pérennité de leurs activités. Cette dynamique engendre un véritable jeu d'acteurs en cascade, dans lequel les organisations professionnelles jouent un rôle central d'intermédiation et d'alignement stratégique.

Si les acteurs demeurent insérés dans une logique économique concurrentielle, la mise en œuvre d'une réglementation davantage circulaire favorise néanmoins certaines convergences d'intérêts. L'économie circulaire agit ici comme un catalyseur de nouvelles coopérations, permettant ponctuellement de dépasser les logiques purement économiques. Toutefois, cette convergence reste limitée à la sphère du recyclage, au détriment des approches systémiques nécessaires pour intégrer pleinement la prévention et le réemploi. En l'absence de mécanismes incitatifs ou coercitifs forts, ces dimensions demeurent marginales dans les stratégies des acteurs économiques, posant ainsi la question de l'efficacité à long terme des politiques publiques et de la capacité réelle de la filière à se transformer en profondeur.

Dans cette dynamique, le rôle des éco-organismes illustre bien les limites structurelles de la gouvernance de la matière actuelle. Censés piloter la circularité des objets-déchets, ils occupent une position paradoxale : chargés d'orienter les flux et d'encourager le réemploi, ils ne disposent pourtant pas d'un réel pouvoir coercitif sur leurs adhérents. Leur action se concentre ainsi principalement sur l'amélioration du recyclage, au détriment du développement d'initiatives de prévention ou de réemploi, dont le déploiement reste lent. Ce déséquilibre contribue à entretenir une circularité partielle, davantage axée sur la conformité réglementaire que sur une transformation structurelle des modes de production et de consommation.

Les tensions entre échelles d'action - locale, nationale, européenne, voire internationale - accentuent ces clivages : si des initiatives locales émergent pour développer des alternatives plus vertueuses (réemploi, recyclage low-tech, épiceries vrac, etc.), elles restent marginales face à la puissance des filières qui continuent de privilégier la logique techno-solutionniste et le maintien des volumes de production.

Au total, l'analyse qualitative met en lumière les paradoxes d'une transition circulaire des plastiques encore largement inachevée. L'économie circulaire, tel qu'elle est aujourd'hui mise en œuvre dans la filière, s'apparente moins à une transformation structurelle qu'à une adaptation rhétorique et procédurale des modèles existants. En valorisant le recyclage comme symbole de circularité sans remettre en cause les logiques de production et de consommation, les acteurs contribuent à stabiliser un statu quo sous couvert d'innovation (intégration de MPR, développement de nouvelles filières de recyclage, écoconception, etc.).

Ainsi, l'économie circulaire des plastiques apparaît avant tout comme un énoncé performatif, soit un horizon mobilisateur permettant de fédérer des discours et des politiques, plutôt que comme une réalité pleinement opérationnelle. Les résultats invitent dès lors à interroger plus profondément les conditions d'une véritable circularité, qui ne saurait advenir sans repenser la hiérarchie des modes de traitement, replacer la prévention et le réemploi au cœur des stratégies, et redistribuer le pouvoir d'action au sein d'un jeu d'acteur aujourd'hui dominé par les logiques économiques et industrielles.

Les limites rencontrées et perspectives de recherche

Après être revenu sur les apports de cette thèse, il convient désormais de s'attarder sur les limites auxquelles ce travail de recherche s'est heurté. Leur identification n'a pas seulement pour objectif de signaler les zones d'ombre ou les points perfectibles, mais également d'ouvrir la voie à de nouvelles pistes de réflexion. Ces limites constituent en effet un point d'ancrage essentiel pour envisager des prolongements et enrichir des recherches futures.

Poursuivre la recherche au contact des matières plastiques

L'objectif de la thèse a été d'identifier et d'analyser les dynamiques de circulation des matières plastiques, en mobilisant une approche à la fois quantitative et qualitative. L'analyse de ces dynamiques a été rendue possible grâce à la mobilisation d'un double cadre méthodologique et analytique, croisant les apports de l'écologie territoriale et de la *Political Industrial Ecology*. Cette articulation permet d'appréhender conjointement les rapports de pouvoir entre acteurs et l'analyse des bilans matière. Tout comme Bastin (2022) « si notre approche se veut matérielle au sens où elle analyse le système territorial et les jeux d'acteurs à travers les circulations de matière, elle ne se situe pas au plus proche de la matière ». En effet, notre enquête de terrain, menée à travers des entretiens et des observations auprès d'acteurs économiques et publics, s'est principalement déroulée dans des environnements tels que des bureaux, des salles de réunion, des salles de conférence, ainsi que par visioconférence, à quelques exceptions près lors de visites de centres de tri et de lignes de recyclage des déchets plastiques. Ce cadre a permis de recueillir des données qualitatives précieuses sur les jeux d'acteurs ainsi que sur leurs perceptions de la circularité des matières plastiques, mais il a en revanche restreint la possibilité d'une observation immersive des pratiques et des processus matériels.

Ainsi, il convient également de souligner que les personnes rencontrées dans le cadre de cette enquête occupent majoritairement des postes à responsabilité : directeur·es, chargé·es de mission, responsables de service, dont les activités quotidiennes relèvent davantage de la coordination stratégique, du pilotage de projets ou de la mise en œuvre de politiques publiques, que de la manipulation directe de la matière plastique. Leur rapport à la matière reste dès lors assez éloigné et régi par des instruments de gestion (rapports, indicateurs, normes), plutôt que par une expérience concrète et sensorielle des flux matériels plastiques.

En ce sens, notre approche se distingue de travaux qui s'attachent à documenter la matérialité des pratiques par l'observation directe des travailleur·es du déchet (Corteel & Le Lay, 2011 ; Florin, 2024 ; Jeanjean, 2021) et/ou des « lieux de l'ordure » (décharges, marchés des déchets, etc.) » (Pierrat, 2014 ; Lehec, 2019 ; Lhoste et al., 2022, etc.). En effet, l'absence d'enquête auprès des travailleur·es en contact direct avec la matière, telle que les agents plasturgistes, les opérateurs de collecte, de tri, ou encore de recyclage, ainsi que l'immersion dans les lieux techniques du déchet, limitent la compréhension des logiques pratiques et des contraintes quotidiennes liées à la manipulation de la matière plastique. Les données recueillies permettent d'éclairer les représentations, les stratégies et les jeux d'acteurs à un niveau institutionnel et économique, mais elles offrent moins de prise sur la dimension pragmatique et expérientielle de la circularité, tel qu'elle se déploie dans les gestes, les routines et les interactions matérielles au sein des infrastructures de gestion des déchets ou des usines de production. Cette focalisation sur les acteurs en surplomb met donc en évidence un certain

décalage : si elle est riche pour comprendre les dynamiques de jeux d'acteurs à travers les discours et les actions, elle laisse en partie dans l'ombre les expériences et pratiques concrètes des agents de terrain, qui sont pourtant au cœur des processus matériels de la circularité.

À ces contraintes méthodologiques s'ajoute une autre limite, inhérente au périmètre de la recherche : la thèse a privilégié une analyse globale et transversale de la filière plastique en France, s'appuyant sur les données disponibles à l'échelle nationale, ce qui a conduit à ne proposer que des focales ponctuelles sur certains segments de la chaîne. Ainsi, si l'approche adoptée permet de saisir les logiques systémiques et les rapports de force qui structurent les circulations des flux plastiques, elle se tient nécessairement à une certaine distance des pratiques matérielles elles-mêmes, ce qui renforce le paradoxe initialement relevé.

Pour remédier à cela, l'objectif serait de mener une recherche en contact direct avec certains objets-déchets plastiques. Il s'agirait de suivre de manière fine les flux plastiques, en s'attachant notamment à leur circulation au sein des nouvelles filières REP (Jouets, Articles de Bricolage et Jardinage, Sports et Loisirs, voir même Bâtiments et Matériaux de Construction), puisque celles-ci montrent une diversité plus grande de polymères mais aussi d'acteurs, notamment issus de l'économie sociale et solidaire. Une telle recherche serait l'occasion de réaliser des enquêtes de terrain auprès des éco-organismes ainsi que dans les lieux de collecte (déchetteries, ressourceries), de tri, de recyclage, mais aussi dans les espaces dédiés au réemploi, à la réutilisation et à la réparation (magasins, associations, unités de lavage, etc.). Ainsi, au-delà d'une recherche centrée sur le recyclage, cette perspective de recherche permettrait d'explorer les dynamiques émergentes du réemploi des plastiques, cherchant notamment à comprendre de quels plastiques il s'agit.

Le bon usage des matériaux plastiques

Bien que cette thèse porte sur l'étude métabolique des flux plastiques, elle s'est principalement concentrée sur le recyclage des matières, tel que mis en évidence par les analyses, et moins sur leur prévention. Pour y remédier, et à titre d'exercice réflexif, nous proposons une perspective sur l'usage des plastiques : un bon usage des matières plastiques est-il possible ?

Au cours de la période consacrée à notre recherche, nous avons relevé l'émergence d'un lexique spécifique associé à l'usage des matières plastiques. Ainsi, certaines expressions récurrentes, telles que « plastiques problématiques ou non nécessaires » (observation terrain, 2^e webinar de consultation des parties prenantes du traité sur les plastiques, 2023), ou encore « emballages en plastique à usage unique inutiles »¹⁸⁶ témoignent de la construction progressive d'un discours critique interrogeant la pertinence de leur utilité. Ces occurrences nous ont conduits à interroger la notion de « bon usage » des plastiques et, plus largement, à questionner les pratiques matérielles actuelles. Aujourd'hui, selon leur fonction et leur durée d'usage, les plastiques s'inscrivent dans des boucles techniques et temporelles multiples : certains relèvent de l'usage unique, d'autres connaissent un usage prolongé, une fin d'usage, voire un second usage. Cette pluralité invite à interroger non seulement leurs trajectoires matérielles, mais aussi leur valeur sociale. La distinction entre plastiques « utiles » et « inutiles », « durables » et « jetables », ou encore « contaminants », révèle des tensions entre performance, responsabilité et soutenabilité qui structurent de plus en plus les discours sur la matérialité plastique.

186 Décret 3R : <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/Consulter%20la%20Strat%C3%A9gie%203R%20pour%20les%20emballages%20en%20plastique%20%C3%A0%20usage%20unique.pdf> consulté en octobre 2025

Conclusion générale

Dans la lignée des réflexions de Flore Berlingen dans son ouvrage « Du bon usage de nos ressources : pourquoi le recyclage doit changer de modèle » (Berlingen, 2025), nous nous attachons à préciser ce que recouvre cette idée de « bon usage ». Comme le rappelle l'auteurice, d'après la définition du Centre national de ressources textuelles et lexicales, « faire bon usage » d'un objet signifie « s'en servir de manière efficace, conforme et à de bonnes fins ». Cette définition met en lumière la dimension éthique et fonctionnelle attachée à l'usage, qui dépasse la simple efficacité matérielle pour questionner les pratiques des usagers à l'égard de leurs biens. Par ailleurs, Berlingen (2025) élargit la réflexion en questionnant la logique du « jetable », qu'elle définit comme englobant non seulement les emballages ou produits à usage unique, mais aussi l'ensemble des biens dont la durée de vie est raccourcie par la conception ou les stratégies marketing (vêtements, équipements ménagers, smartphones, etc.) (Berlingen, 2025 : 27). Cette approche met en évidence l'imbrication entre conception, usage et fin d'usage des objets dans la dynamique du gaspillage des ressources et des matières. Dans le même esprit, le décret « 3R » (Réduction, Réemploi, Recyclage) précise la notion d'« emballages inutiles », définis comme ceux « n'ayant pas de fonction technique essentielle, telle qu'une fonction de protection, sanitaire ou d'intégrité des produits, de transport ou de support d'information réglementaire ».

Cette définition relativement large semble finalement viser principalement les suremballages (éléments ajoutés à l'emballage initial, comme par exemple un film plastique entourant une barquette plastique contenant des légumes), mais c'est déjà un début. Ces définitions s'inscrivent dans une perspective récente sur la mise en circulation des plastiques et mettent en lumière la complexité de la notion d'usage pour cette matière ainsi que les différentes perceptions qu'en ont les acteurs français de la chaîne de valeur. De fait, elles conduisent pour certains acteurs de la filière plastique (chercheurs, pouvoirs publics, associations) à vouloir bannir les plastiques à usage unique à cause de leur caractère nocif pour l'environnement et la santé, mais aussi à distinguer les plastiques dits « essentiels » (comme certains dispositifs médicaux) et « non essentiels » (typiquement les emballages ou produits à usage unique). Cette distinction ouvre un vaste débat : faut-il substituer certains plastiques par d'autres matériaux, et si oui, lesquels ? Quels types de résines doivent être conservées sur le marché ? Certains acteurs, comme l'éco-organisme Citeo, plaident pour une simplification des résines en limitant l'usage à quatre grandes familles pour les emballages (PET, PE, PP et PS), considérant qu'une partie des plastiques actuels est remplaçable (entretien avec un directeur écoconception, Citeo, 2022). D'autres (producteurs de résines, fabricants et metteurs en marché), en revanche, s'opposent à ces restrictions, soulignant l'irremplaçabilité de certaines résines, dont la suppression mettrait en péril leurs secteurs d'activités (entretien, Directeur Développement durable, Polyvia, 2022 ; entretien, Directeur RSE, plasturgiste, 2023). Parallèlement, les négociations autour du traité mondial sur la pollution plastique posent la question de savoir quels plastiques interdire et selon quels critères (observation terrain, 2^e webinaire de consultation des parties prenantes du traité sur les plastiques, 2023). En somme, ces débats révèlent que la question du « bon usage » des plastiques ne se réduit pas à leur seule utilisation, mais engage toute la chaîne d'acteurs et leurs actions en ce sens.

Ces discours et positionnements nous invitent à élargir la réflexion : comprendre le bon usage des plastiques pourrait supposer interroger non seulement certaines pratiques, ainsi que la logique même de développement matériel qui a guidé leur essor, car, à force de chercher des applications toujours plus techniques, la sobriété et la simplicité matérielle ont été mises de côté. Le plastique, intégré dans tous les secteurs économiques et décliné en d'innombrables formulations, a contribué à complexifier l'ensemble

du cycle, de la production à la fin d'usage, en intégrant des objets majoritairement constitués d'une autre matière (le coton pour les vêtements, le bois pour les meubles, etc.) mais qui se voient souillés par le mélange avec des polymères. En le tordant dans tous les sens, en le façonnant pour répondre à des besoins toujours plus variés, il est devenu un matériau difficile à gérer en fin d'usage et polluant. Ainsi, à mesure que le plastique gagnait en sophistication, la complexité matérielle s'imposait au détriment de la sobriété. Réfléchir au bon usage des matériaux, c'est admettre que leur valeur ne réside pas seulement dans leurs performances ou leur disponibilité, mais aussi dans la durabilité et la pertinence des usages que nous en faisons.

Dès lors, repenser la place du plastique dans nos sociétés ne revient pas seulement à en perfectionner la gestion, mais à questionner la pertinence de sa production et de ses usages passés, actuels et futurs. Plutôt que de se limiter à améliorer sans cesse leur recyclabilité, faire bon usage des plastiques pourrait signifier, dans une perspective de sobriété, repenser en amont leur nécessité, leur durée d'usage, même, jusqu'à envisager l'arrêt de la production de certains d'entre eux.

Bibliographie de la conclusion

- Akrich, M. (2010). Comment décrire les objets techniques ? *Techniques & Culture*.
<https://doi.org/10.4000/tc.4999>
- Berlingen, F. (2025). Du bon usage de nos ressources. Pourquoi le recyclage doit changer de modèle. Rue de l'Échiquier.
- Florin, B. (2024). Les récupérateurs-recycleurs du Caire, ces impensés de l'économie circulaire. *La Géographie*, 1593(2), 16-21. <https://doi.org/10.3917/geo.1593.0016>.
- Corteel, D. et Le Lay, S. (dir.) (2011). Les travailleurs des déchets. *ères*. <https://doi.org/10.3917/eres.corte.2011.01>.
- Jeanjean, A. (2021). Habiter les restes (Résider dans les résidus) *Psychologie Clinique*, 52(2), 88-98. <https://doi.org/10.1051/psyc/20215088>.
- Lehec, É. (2019). Vers un service composite de gestion du métabolisme urbain. Ce que compostage industriel et compostage en pied d'immeuble ont en partage. *Flux*, 116-117(2), 95-111. <https://doi.org/10.3917/flux1.116.0095>.
- Lhoste, P., Tastevin, T-P., de Bercegol, R., Gowda, S., Macouin, M., Cassayre, L. (2023). L'interdisciplinarité en actes : le recyclage artisanal du plomb dans les ateliers de l'Uttar Pradesh. *Tracés. Revue de Sciences humaines*. <https://doi.org/10.4000/traces.14686>
- Pierrat, A. (2014). Les lieux de l'ordure de Dakar et d'Addis Abäba : territoires urbains et valorisation non institutionnelle des déchets dans deux capitales africaines. Thèse de Doctorat. Université Paris 1.

Bibliographie

Ouvrages et articles scientifiques

- Akoueson, F. (2022). Les additifs issus des microplastiques : caractérisation, lixiviation et impacts. Thèse de Doctorat. Université du Littoral Côte d'Opale.
- Akrich, M. (2006). La construction d'un système socio-technique. Esquisse pour une anthropologie des techniques. In M. Akrich, M. Callon, & B. Latour (éds.), *Sociologie de la traduction* (1-). Presses des Mines. <https://doi.org/10.4000/books.pressesmines.1195>
- Altman, R. (2021). The myth of historical bio-based plastics. *Science*, 47-49.
- Anderson, P-J., Warrack, S., Langen, V., Challis, J., Hanson, M., Rennie, M. (2017). Microplastic contamination in Lake Winnipeg, Canada. *Environmental Pollution*, Volume 225, 223-231. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.02.072>
- Andrady, AL., Neal, MA. (2009). Applications and societal benefits of plastics. *The Royal Society publishing*. <https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0304>
- Ayres, R., Ayres, L. (2002). *A Handbook of Industrial Ecology*, Northampton: Edward Elgar Publishing Limited.
- Arnsperger, C., Bourg, D. (2016). Vers une économie authentiquement circulaire : Réflexions sur les fondements d'un indicateur de circularité. *Revue de l'OFCE*, n° 145, 91-125. 10.3917/reof.145.0091.
- Arp, H.P.H., Kühnel, D., Rummel, C., MacLeod, M., Potthoff, A., Reichelt, S., Rojo-Nieto, E, Schmitt-Jansen, M., Sonnenberg, J., Toorman, E., Jahnke A. (2021). Weathering Plastics as a Planetary Boundary Threat: Exposure, Fate, and Hazards. *Environmental Science & Technology*. Vol 55/ Issue 11. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c01512>
- Bahers, J-B., Giacchè, G. (2018). Échelles territoriales et politiques du métabolisme urbain : la structuration des filières de biodéchets et l'intégration de l'agriculture urbaine à Rennes, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*. <https://doi.org/10.4000/vertigo.21609>
- Bahers, J-B., Batardy, C., Barbe, F. (2019). Les déchets nantais : exportations et flux cachés du métabolisme urbain, in F. Madoré, J. Rivière, C. Batardy, S. Charrier, S. Loret, *Atlas Social de la métropole nantaise*. <https://doi.org/10.48649/asmn.289>.
- Bahers, J-B. (2021). Infrastructures et métabolisme urbain, luttes et enjeux politiques. *Terrestres*.
- Bahers, J-B. (2023). Political-industrial ecology. *Dictionary of Ecological Economics*. *Edward Elgar Publishing*, 410-410. <https://doi.org/10.4337/9781788974912.P.27>
- Bahers, J-B., Durand, M. (2018). Quelle matérialité pour les relations ville-campagne ? Les enjeux de l'économie circulaire, *Pour*, 2018/4 (n° 236). <https://doi.org/10.3917/pour.236.0133>.
- Baka, J. (2025). Cracking Appalachia: A Political-Industrial Ecology Perspective. *Annals of the American Association of Geographers*. Volume 115, 2025 - Issue 4. <https://doi.org/10.1080/24694452.2025.2452554>
- Bao, Z., et al. (2010). A Review of Material Flow Analysis. *International Conference on Management and Service Science*, -9. 10.1109/ICMSS.2010.5577113

- Barbier, R. (2021). Faire collectif avec les déchets : essai sur l'ordre public rudologique. *Géocarrefour*.
<https://doi.org/10.4000/geocarrefour.16183>
- Bardi, 2015, Le Grand pillage, comment nous épuisons les ressources de la planète. Les Petits Matins.
- Barles, S. (2005). L'invention des déchets urbains 1790-1970. Champ Vallon.
- Barles, S. (2006). Le métabolisme de Paris et de la région Île-de-France : Un premier bilan.
- Barles, S. (2009). Urban Metabolism of Paris and Its Region. *Journal of Industrial Ecology*, 898-913.
<https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2009.00169.x>
- Barles, S. (2014). L'écologie territoriale et les enjeux de la dématérialisation des sociétés : l'apport de l'analyse des flux de matières. *Développement durable et territoires*, vol. 5, n° 1. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10090>
- Barles, S. (2017). Écologie territoriale et métabolisme urbain : quelques enjeux de la transition socioécologique. *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol., n° 5, 2017, 819-836.
<https://doi.org/10.3917/reru.175.0819>.
- Barles, S. (2018). Métabolisme urbain, transitions socio-écologiques et relations ville-campagne, *Pour*, 2018/4 (n° 236), 49-54. <https://doi.org/10.3917/pour.236.0049>.
- Barthe, Y. (2000). La mise en politique des déchets nucléaires : l'action publique aux prises avec les irréversibilités techniques. Thèse de Doctorat. École nationale supérieure des mines Paris.
- Bastin, A. (2019). Vers une gestion circulaire des matières inertes issues de la démolition et des travaux publics en région parisienne : une lecture croisant transition sociotechnique et approches territoriales. *Flux*, 116-117(2), 42-57. <https://doi.org/10.3917/flux1.116.0042>.
- Baudet, J.-C. (2017). Histoire de la chimie. De Boeck Supérieur.
- Bencharif, A., Rastoin, J.L. (2007). Concepts et méthodes de l'analyse de filières agroalimentaires : application par la chaîne globale de valeur au cas des blés en Algérie. Moisa.
- Benelli, N., Corteel, D., Debary, O., Florin, B., Le Lay, S. et Rétif, S. (2017). Introduction. Que faire des restes ? : Le réemploi dans les sociétés d'accumulation. *Presses de Sciences Po*, 9-16.
<https://shs.cairn.info/que-faire-des-restes--9782724620207-page-9?lang=fr>.
- Bensaude-Vincent, B., Sengers, I. (1993). Histoire de la chimie. La Découverte.
- Beraud, H., Durand, M., Oates, R., Gbedande, F. (2022). Fondamentaux hygiénistes ou résilience environnementale ? La gestion des déchets en crise Covid. *Développement durable et territoires*, Vol. 13, n° 2. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.21154>
- Bergmann, M., Collard, F., Fabres, J. et al. (2022). Plastic pollution in the Arctic. *Nature Reviews Earth & Environnement*, 323–337. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00279-8>
- Bertier, G., Martel, A., George, M., Fabre, P., Boucher, F., Gérome, J., et al. (2025). Where does the carbon go? A new carbon balance method to assess what happens to plastics under solar exposure. *PLoS One*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0333021>
- Bertolini, G. (1991). Homo Plasticus, les plastiques, défi écologique. Éditions Sang de la terre.
- Bertolini, G. (2011). Montre-moi tes déchets...L'art de faire parler les restes. L'Harmattan.
- Birley, A. (1982). Plastics used in food packaging and the rôle of additives. *Food Chemistry*, Volume 8, Issue 2, 81-84. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(82\)90003-6](https://doi.org/10.1016/0308-8146(82)90003-6)
- Blanckaert, C. (2006). La discipline en perspective. Le système des sciences à l'heure du spécialisme (XIX^e-XX^e siècles), dans J. Boutier, J.-C. Passeron, J. Revel (dir.), Qu'est-ce qu'une discipline ? Paris, Éditions de l'EHESS.

- Blot, D., Tramoy, R., Gasperi, J., et al. (2021). Le continent oublié. Lumières et zones d'ombre des recherches sur la dissémination des plastiques. *Natures Sciences Sociétés*, 2021/4 (Vol. 29), 469-478. <https://doi.org/10.1051/nss/2022002>
- Blot, D., Désert, J. (2019). Nettoyer la nature, est-ce vraiment une bonne idée ? *The Conversation*. <https://doi.org/10.64628/AAK.m6vademecm>
- Boussard, M. (2022). Fondation d'une micro-usine pour la fabrication de mobilier au travers d'un recyclage plastique en circuit-court, Etude de cas : Precious Plastic Touraine Val de Loire. Mémoire professionnel, Master MIDEDEC.
- Bourdin, S., Torre, A. (2023). L'économie circulaire, nouveau levier de développement et de transition écologique pour les territoires, *Population & Avenir*, 2023/3 (n° 763), 4-7. <https://doi.org/10.3917/popav.763.0004>.
- Brydson, J. A. (1999). *Plastics Materials*. Butterworth-Heinemann.
- Bucknall, D. G. (2020). Plastics as a materials system in a circular economy. *Phil. Trans. R. Soc.* <http://doi.org/10.1098/rsta.2019.0268>
- Buclet, N., Barles, S., Cerceau, J., Herbelin, A. (2015). Essai d'écologie territoriale, L'exemple d'Aussois en Savoie, Chapitre I. L'écologie territoriale entre analyse de métabolisme et jeux d'acteurs. p. 13-45
- Buclet, N., Donsimoni, M. (2020). Métabolisme territorial et capacités : une articulation entre enjeux économiques et écologiques. *Natures Sciences Sociétés*. <https://doi.org/10.1051/nss/2020035>.
- Buf, J.-M. (2024). Les enjeux à relever pour une filière plastique circulaire et territoriale : l'exemple de la région des Pays de la Loire. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 118-122. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0118>.
- Cavaliere, A., Pigliafreddo, S., De Marchi, E., & Banterle, A. (2020). Do Consumers Really Want to Reduce Plastic Usage? Exploring the Determinants of Plastic Avoidance in Food-Related Consumption Decisions. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su12229627>
- Cavé, J., Durand, M., Pierrat, A. (2020). Sobriété matière, gaspillage évité : s'inspirer des pays du Sud. *Écologie & Politique*, 121-135. <https://doi.org/10.3917/ecopo1.060.0121>.
- Cavé J., De Pin A., Tastevin Y-P. (2024). La civilisation du déchet : tout savoir sur le recyclage... et ses limites. Les Arènes.
- Carimentrand, A. (2012). Filière. Dans Blanchet, V. et Carimentrand, A. (dir.), *Dictionnaire du commerce équitable*. Éditions Quæ, 132 -138. <https://doi.org/10.3917/quae.blanc.2012.01.0132>.
- Carpenter, E.J., Smith, K. L. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.175.4027.1240>
- Cauwet, L. (2017). Les 100 mots des « Arts déco » Les 100 mots des «Arts déco». Presses Universitaires de France, 5-114. <https://shs.cairn.info/les-100-mots-des-arts-deco--9782130786504-page-5?lang=fr>.
- Chamak, B. (2022). Transdisciplinarité : à la recherche de passerelles... *Cahiers de PréAut*, 2022/1 (n° 19), 9-23. <https://doi.org/10.3917/capre1.019.0009>.
- Chastel, X. (2024). La plasturgie - une industrie mondiale exportatrice dans les territoires : exemple de la région Auvergne-Rhône-Alpes. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 123-127. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0123>.
- Cirelli, C., Maccaglia, F., Propos recueillis par Caillaud, K., Nessi, H. et Rulleau, B. (2022). Les déchets, un secteur pour appréhender les asymétries et les relations de pouvoir inhérentes aux interdépendances ? *Flux*, n° 128(2), 75-80. <https://doi.org/10.3917/flux1.128.0075>.

- Collard, F. (2020). L'économie circulaire. *Courrier hebdomadaire du CRISP*, n° 2455-2456(10), 5-72. <https://doi.org/10.3917/cris.2455.0005>.
- Cordier, M., Uehara, T., Baztan, J., Jorgensen, B., Yan, H. (2021). Plastic pollution and economic growth: the influence of corruption and lack of education. *Ecological Economics*, Volume 182. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2020.106930>
- Cousin X., Darmon G., Dignac M.-F., Lartaud F., Le Roux G., Mathieu-Ernande G., Miaud, C. (coord.), (2025). Pollution plastique, la biodiversité menacée, Versailles, éditions Quæ. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4084-5>
- Crozes, A. (2019). Le déchet, chose délaissée ou produit en devenir ? *Droit et Ville*, 129-146. <https://doi.org/10.3917/dv.087.0129>.
- Dagognet, F. (1989). Rematéraliser Matières et Matérialismes. Librairie Philosophique J.Virin, Paris.
- Dallem, L. (2024). Panorama des mesures prises par l'Union européenne. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 82-85. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0082>.
- Daniel, L. (2023). Repenser la chaîne logistique d'une structure de l'économie circulaire pour une meilleure gestion des déchets. Mémoire professionnel, Master MIDEDEC.
- Debrand, D. (2018). Les nouvelles stratégies d'innovation des firmes françaises de plasturgie. *Revue d'économie industrielle*, 9-36. <https://doi.org/10.4000/rei.7561>
- Dermine-Brullot, S., Torre, A. (2020). Quelle durabilité pour le développement territorial ? Réflexions sur les composantes spatiales de l'économie circulaire. *Natures Sciences Sociétés*, Vol. 28(2), 108-117. <https://doi.org/10.1051/nss/2020034>.
- Desvaux, P. (2021). L'économie circulaire : un réel changement de paradigme ? *Cahiers français*, 34-41. <https://doi.org/10.3917/cafr.422.0034>.
- Desvaux, P. (2017). Économie circulaire acritique et condition post-politique : analyse de la valorisation des déchets en France. *Flux*, 36-50. <https://doi.org/10.3917/flux1.108.0036>.
- Dillenseger, C. (2024). Le métabolisme en partage. Éprouver et connaître les flux de la propreté urbaine à Lyon, Vienne et Athènes. Thèse de Doctorat. Ecole normale supérieure de lyon – ENS.
- Dormoy, C. (2024). Par-delà la technique : une ethnographie du « problème déchet » au prisme d'une collectivité territoriale. Thèse de Doctorat. Université de Picardie Jules Verne.
- Duquennoi, C. (2024). L'odyssée des déchets du big bang à nos jours. Éditions Quæ.
- Dupeux, M. (2018). Chapitre 1. Généralités : qu'est-ce qu'un matériau ? Science et génie des matériaux. p. 1-5. Dunod.
- Durand, C., Keucheyan R. (2024). Comment bifurquer, les principes de la planification écologique. La Découverte.
- Durand, M., Bahers, J-B., Bonierbale, T., Beraud, H., Barroca, B. (2016). Vers une économie circulaire de proximité ; Métabolisme urbain, empreinte environnementale et politique de gestion des déchets, Rapport de recherche, ADEME. hal-01662474f.
- Durand, M. (2024). De la déchetterie à la ressourcerie. Approche internationale de rudologie. Habilitation à Diriger des Recherches. Le Mans Université.
- Duval, C. (2009). Matières plastiques et environnement : recyclage, valorisation, biodégradabilité, écoconception. Paris. L'Usine nouvelle, France. Dunod.

- Eastes, R.-E., Bensaude-Vincent, B. (2020). Chapitre 23. Chimie en société : vers une nouvelle identité. Dans B. Bensaude-Vincent et R. Eastes Philosophie de la chimie (p. 351-372). De Boeck Supérieur. <https://doi.org/10.3917/dbu.easte.2020.01.0351>.
- Eisenberg, A. (2024). La consigne pour recycler les bouteilles plastiques, une solution transitoire vers un monde sans plastique ? *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 47-50. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0047>.
- Faure, N., Morin, F. (2019). Lutte contre les microplastiques : un objectif de santé publique pour les médecins généralistes ? *Santé Publique*, 2019/6 (Vol. 31), 785-788. <https://doi.org/10.3917/spub.196.0785>.
- Feldman, D. (2008). Polymer History. *Designed Monomers and Polymers*, 1–15. <https://doi.org/10.1163/156855508X292383>
- Fini, J-B. (2021). La pollution invisible des plastiques. *Pour la science* n° 524.
- Fischer-kowalski, M. (1998). The Intellectual History of Material Flow Analysis, Part I, 1860 - 1970. *Journal of Industrial Ecology*, 61-78.
- Freinkel, S. (2011). *Plastic: A Toxic Love Story*. Graywolf Press, Minneapolis, Minnesota.
- Frodeman, R. (2019). *Pour un savoir soutenable, une théorie de l'interdisciplinarité*, Éditions Quae, NSS-Dialogues.
- Gabrys, J., Hawkins, G., Michael, M. (2013). *Accumulation: The Material Politics of Plastic*. Routledge.
- Galgani, F., Bruzard, S., Duflos, G., Fabre, P., Gastaldi, E., Ghiglione, J., Grimaud, R., George, M., Huvet, A., Lagarde, F., Paul-Pont, I., Ter Halle, A. (2020). Pollution des océans par les plastiques et les microplastiques. *Techniques de l'Ingénieur*.
- Garcier, R.-J., Rocher, L. et Verdeil, É. (2017). Introduction : circulation des matières, économies de la circularité. *Flux*, 1-7. <https://doi.org/10.3917/flux1.108.0001>.
- Garcier, R.-J., Martinais, E. et Rocher, L. (2018). Désigner, mesurer, réguler : la mise en politique des flux et circulations. *Géocarrefour*. <https://doi.org/10.4000/geocarrefour.10362>
- Gasperi, J., Dris, R., Mirande-Bret, C., Mandin, C., Langlois, V et al. (2015). First overview of microplastics in indoor and outdoor air. 15th EuCheMS International Conference on Chemistry and the Environment, Leipzig, Germany.
- Gérardin, M., Crasson, F. et Mancini, M. (2024). Emballages ménagers : quel cadre d'organisation ? *La note d'analyse de France Stratégie*, 1-16. <https://shs.cairn.info/revue-la-note-d-analyse-2024-1-page-1?lang=fr>.
- Gestoso, I., Cacabelos, E., Ramalhosa, P., Canning-Clode, J. (2019). Plasticrusts: a new potential threat in the Anthropocene's rocky shores. *Science of The Total Environment*, 413-415. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.123>
- Geyer, R., Jambeck, J., Lavender Law, K. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*. 10.1126/sciadv.1700782
- Gibbons, M., Trow, M., Scott, P., Schwartzman, S., Nowotny, H., Limoges, C. (1994). *The new production of knowledge - the dynamics of science and research in contemporary societies*. Sage Publications, Inc.
- Gigault, J., Halle, A., Baudrimont, M., Pascal, P.-Y., Gauffre, F., Phi, T-L., El Hadri, H., Grassl, B., Reynaud, S. (2018). Current opinion: What is a nanoplastic? *Environmental Pollution* Volume 235, 1030-1034. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.01.024>

- Ghiglione, J-F., Dignac, M-F. (2024). Les plastiques biodégradables : distinguer le vrai du faux. Le plastique : un poison si pratique.
- Ghiglione, J-F. Chapitre 3. Plastiques biodégradables : une solution à la pollution plastique ? dans Cousin X., Darmon G., Dignac M.-F., Lartaud F., Le Roux G., Mathieu-Ernande G., Miaud, C. (coord.), (2025). Pollution plastique, la biodiversité menacée, Versailles, éditions Quæ, 166-168. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4084-5>
- Gontard, N. (2018). Déchets plastiques : la dangereuse illusion du tout-recyclage. *The Conversation*. <https://doi.org/10.64628/AAK.ynmes7r96>
- Gontard, N., Seingier, H. (2020). Plastique, le grand emballement. Stock.
- Gouhier, J. (1972). Éléments pour une géographie des déchets : essai d'inventaire et analyse comparée dans le Maine et la région de Liège (Belgique). Thèse de doctorat. Université de Caen.
- Gouhier, J. (2000). Au-delà du déchet, le territoire de qualité. Manuel de rudologie, Presses universitaires de Rouen et du Havre.
- Graedel, T. E., Allenby, B. R. (2009). Industrial Ecology and Sustainable Engineering. Prentice-Hall of India Pvt.Ltd.
- Grau, É. et Reutenauer, P. (2024). État des lieux du plastique. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 8-14. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0008>.
- Gregson, N., Crang, M., Fuller, S., & Holmes, H. (2015). Interrogating the circular economy: the moral economy of resource recovery in the EU. *Economy and Society*, 218–243. <https://doi.org/10.1080/03085147.2015.1013353>
- Gudger, E.W. (1928). A mackerel (*Scomber scombrus*) with a rubber band rove through its body, American Museum of Natural History.
- Gusdorf, G. (1990). Réflexions sur l'interdisciplinarité, *Bulletin de psychologie*, n° 397.
- Heim, P., Verney, V., Machon, J.-P., Seguela, B. et Wirth, R. (2017). 8. Polymères styréniques. Dans M. Carrega et V. Verney Matières plastiques : Propriétés, mise en forme et applications industrielles des matériaux polymères. Dunod, 215-233. <https://doi.org/10.3917/dunod.carre.2017.02.0215>.
- Hibert, B. (2004). Point de vue sur l'interdisciplinarité. *Strates*. <https://doi.org/10.4000/strates.424>
- Hünma, Y. (1964). Notes on the specimens of halfbeaks, *Hemirhamphus sajori* Cf. & S.), with heads or trunks bound with rubber bands, Collecting and Breeding (in Japanese).
- Jambeck, J., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., Lavander Law, K. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean, *Science*, vol 347, n° 6223, 768-771. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1260352>
- Jeanjean, A. (2016). Peindre la voix, écrire le déchet. *Techniques & Culture*. <https://doi.org/10.4000/tc.8075>
- Jolliveta, M., Legay, J-M. (2005). Dossier Interdisciplinarité Canevas pour une réflexion sur une interdisciplinarité entre sciences de la nature et sciences sociales. *Natures Sciences Sociétés*, 184-188. 10.1051/nss :2005030
- Khodakov, A, Barrios, A., Peron, D. (2020). Recyclage et valorisation des déchets plastiques : comment ça marche ? *The Conversation*. <https://doi.org/10.64628/AAK.csauw4c7y>
- Klöpffer, W. (1996). Allocation rule for open-loop recycling in life cycle assessment. *Int. J. LCA* 1, 27–31. <https://doi.org/10.1007/BF02978629>

- Knoop, M., Blanc, S., Bouzeghoub, M (dir.). (2022). *L'Interdisciplinarité Voyages au-delà des disciplines*, CNRS Éditions.
- Laflamme, S. (2011). Recherche interdisciplinaire et réflexion sur l'interdisciplinarité. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 49–64. <https://doi.org/10.7202/1007081ar>
- Lagarde, F., Fabre, P. Introduction dans Cousin X., Darmon G., Dignac M.-F., Lartaud F., Le Roux G., Mathieu-Ernande G., Miaud, C. (coord.), (2025). *Pollution plastique, la biodiversité menacée*, Versailles, éditions Quæ, p. 13-16. <https://doi.org/10.35690/978-2-7592-4084-5>
- Laplace, L., Lemay, V., et Darbellay, F (dir.). (2014). *L'interdisciplinarité racontée. Chercher hors frontières, vivre l'interculturalité*. <https://doi.org/10.4000/lectures.15603>
- Lapointe, R. (2012). Bioplastiques biodégradables, compostables et biosourcés pour les emballages alimentaires, distinctions subtiles, mais significatives. Essai présenté au Centre Universitaire de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en Environnement (M. Env.), Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- Lavender Law, K., Thompson, R-C (2014). Microplastics in the seas. *Science*, 144-145. [10.1126/science.125406](https://doi.org/10.1126/science.125406)
- Lebreton, L., Andrady, A. (2019). Future scenarios of global plastic waste generation and disposal. *Palgrave Commun* 5, 6. <https://doi.org/10.1057/s41599-018-0212-7>
- Lebreton, L., van der Zwet, J., Damsteeg, JW. et al. (2017). River plastic emissions to the world's oceans. *Nat Commun*. <https://doi.org/10.1038/ncomms15611>
- Le Dorlot, E. (2004). Les déchets ménagers : pour une recherche interdisciplinaire. *Strates*. <https://doi.org/10.4000/strates.410>
- Lemay, V., et Darbellay, F (dir.). (2014). *L'interdisciplinarité racontée. Chercher hors frontières, vivre l'interculturalité*. Berne, Peter Lang, p. 261.
- Le Meur, M. (2019). *Plasti-cités : Enquêtes sur les déchets et les transformations écologiques au Viêt Nam*. Anthropologie sociale et ethnologie. Thèse de Doctorat. Université libre de Bruxelles (Belgique).
- Leslie, H-A., et al. (2022). Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. *Environment International*, Volume 163. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107199>
- Li vigni, F. (2015). Les théories de la complexité : des points de repère. *Hypothèses*. <https://doi.org/10.58079/ua86>
- Louvel, S. (2015). Ce que l'interdisciplinarité fait aux disciplines. Une enquête sur la nanomédecine en France et en Californie. *Revue française de sociologie*, 75-103. [10.3917/rfs.561.0075](https://doi.org/10.3917/rfs.561.0075).
- Lozier, F., Sulzer, E. (2007). Les PME de la plasturgie face aux contraintes de marché : développer la polyvalence des salariés non qualifiés. *Céreq Bref*, 4.
- Maddah, H. (2016). Polypropylene as a Promising Plastic : A Review. *American Journal of Polymer Science*, 1-11. [10.5923/j.ajps.20160601.01](https://doi.org/10.5923/j.ajps.20160601.01)
- Mah, A. (2022). *Plastic Unlimited, How Corporations Are Fuelling the Ecological Crisis and What We Can Do About It*. Polity Press, Cambridge, UK.
- Malabou, C. (2005). La plasticité en souffrance. *Sociétés & Représentations*, 31-39. <https://doi.org/10.3917/sr.020.0031>.

- Mandjimba, I. (2025). L'optimisation du tri dans une unité de déchets ménagers secs : cas du centre de tri Anjou Tri Valor. Mémoire professionnel, Master MIDEDEC.
- Manglou, M. (2024). Plastiques, déchets et travail à La Réunion. Pour une écologie politique des métabolismes socio-environnementaux en post-colonie. Thèse de Doctorat. Université Jean Moulin Lyon 3.
- Marturano, V., Cerruti, P., Ambrogi, V. (2017). Polymer additives. *Physical Sciences Reviews*. <https://doi.org/10.1515/psr-2016-0130>
- McDonough, W., Braungart, M. (2002). Cradle to Cradle : Créer et recycler à l'infini. Manifestô Alternatives.
- Mercier, C. (1966). L'industrie pétrochimique et ses possibilités d'implantation dans les pays en voie de développement, Éditions Technip.
- Micheaux, H. (2020). La gestion des déchets et la responsabilité élargie du producteur, un modèle français qui fait référence. *Le journal de l'école de Paris du management*, 23-30. <https://doi.org/10.3917/jepam.146.0023>.
- Mitrano, D.M., Bigalke, M., Booth, A.M. *et al.* (2023). Training the next generation of plastics pollution researchers: tools, skills and career perspectives in an interdisciplinary and transdisciplinary field. *Micropl. & Nanopl.* 3, 24. <https://doi.org/10.1186/s43591-023-00072-4>
- Moisan, D. (2021). Les plastiqueurs. Kero.
- Molina, G. (2015). À la recherche de l'interdisciplinarité radicale sur la ville durable : le récit de trois chercheurs « passeurs de frontières ». *Cahiers Rameau*.
- Monfort, J. (1983). À la recherche des filières de production. *Économie et Statistique*, 3-12.
- Monsaingeon, B. (2014). Le déchet durable, Éléments pour une socio-anthropologie du déchet ménager, Thèse de Doctorat. Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne.
- Monsaingeon, B., Propos recueillis par Bonneau, C., Gouchon, M. (2021). Sortir du poubelloène : changer notre rapport aux déchets. *Regards croisés sur l'économie*, 47-55. [10.3917/rce.026.0047](https://doi.org/10.3917/rce.026.0047).
- Monsaingeon, B. Économie circulaire. La promesse d'infini ou prendre au sérieux les limites écologiques ?, dans Berlan, A., G. Carbou, et L. Teulière. (2022) Greenwashing : manuel pour dépolluer le débat public. Éditions du Seuil, p108-115
- Monsaingeon, B. (2017). L'invention des déchets ou la normalisation de l'abandon. *Homo detritus : Critique de la société du déchet*. p. 33-78. Le Seuil.
- Monteil, V., Boisson, C. (2021). Les polyoléfinés : What else? *L'Actualité Chimique*, 64.
- Morin, E. (1994). Sur l'interdisciplinarité, Bulletin Interactif du Centre International de Recherches et Études transdisciplinaires n° 2.
- Morin, E. (2005). Introduction à la pensée complexe, Éditions du Seuil.
- Napper I., Daviers, B., Clifford H., *et al.* (2020). Reaching new heights in plastic pollution—preliminary findings of microplastics on Mount Everest. *One Earth*, 621-630 <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2020.10.020>
- Négrier, M. (2023). L'envers des mots : Surcyclage. *The Conversation*. <https://doi.org/10.64628/AAK.ve7kn6mfd>
- Newell, J. P., Cousins, J. J. (2015). The boundaries of urban metabolism: Towards a political–industrial ecology, *Progress in Human Geography*, 702-728. [10.1177/0309132514558442](https://doi.org/10.1177/0309132514558442)
- Newell, J. P., Cousins, J. J., Baka, J. (2017). Political-industrial ecology: An introduction. Elsevier. *Geoforum*, Vol.85, 318-322. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.07.024>

- Northen, S.L., Nieminen, L.K., Cunsolo, S. et al. (2023). From shops to bins: a case study of consumer attitudes and behaviours towards plastics in a UK coastal city. *Sustain Sci.* <https://doi.org/10.1007/s11625-022-01261-5>
- Obbard, R. W., S. Sadri, Y. Q. Wong, A. A.Khitun, I. Baker, and R. C. Thompson. (2014). Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Seice. *Earth's Future*, 315–320. <https://doi.org/10.1002/2014EF000240>
- O'Brien, S., Rauert, C., Ribeiro, F., Okoffo, E., Burrows, S., O'Brien, J., Wang, X., Wright, S., Thomas, K. (2023). There's something in the air: A review of sources, prevalence and behaviour of microplastics in the atmosphere. *Science of The Total Environment.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162193>
- Paul-Pont, I., Reynaud, S., George, M., Fabre, P., Duflos, G., et al. (2025). Comment les réseaux scientifiques peuvent contribuer à l'avancement des connaissances scientifiques et des politiques publiques : l'étude de cas du réseau « Plastiques, environnement et santé ». Congrès One Ocean Science, CNRS, Ifremer, juin 2025, Nice, France.
- Perrig-chiello, P., Darbellay, F. (2004). La vieillesse est féminine – qui s'en soucie ? La recherche en études genre et en gérontologie entre autodéfinition disciplinaire et exigence interdisciplinaire. *Nouvelles Questions Féministes*, 31-43. 10.3917/nqf.231.0031.
- Piaget, J. (1972). L'épistémologie des relations interdisciplinaires. Fondation Jean Piaget.
- Pincetl, S., Newell J.P. (2017). Why data for a political-industrial ecology of cities? *Geoforum.* <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2017.03.002>
- Ragusa, A., and al. (2021). Plasticenta: First evidence of microplastics in human placenta. *Environment International.* <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106274>
- Rapoport, E. (2011). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. UCL Environmental Institute Working Paper.
- Raworth, K. (2018). La Théorie du donut. Canada, Place des éditeurs.
- Rillig, M. (2012). Microplastic in Terrestrial Ecosystems and the Soil? *Environmental Science & Technology.* <https://doi.org/10.1021/es302011r>
- Schwartz, F. J. (1963) Bluefish from Chesapeake Bay deformed by plastic band, Chesapeake Science.
- Simon Herbert, A. (1962). The Architecture of Complexity. *American Philosophical Society*, 467-482.
- Somlai, C., Bullock, C., Gallagher, J. (2023). Plastic packaging waste in Europe: Addressing methodological challenges in recording and reporting. *Waste Management & Research.* doi:10.1177/0734242X221142192
- Thiam, M. (2022). Diagnostic des emballages utilisés pour la vente à emporter des restaurants du Mans. Mémoire de stage, Licence 3 Géographie parcours Métiers de l'aménagement et développement durable.
- Thompson Klein, J. (2011). Une taxinomie de l'interdisciplinarité. *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 15–48. <https://doi.org/10.7202/1007080ar>
- Thompson, R., Moore, C., Saal, F., Swan, S. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 10.1098/rstb.2009.0053

- Toledano, J. (1978). À propos des filières industrielles. *Revue d'économie industrielle*, 149-158.
- Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., et al., (2019). Estimation des flux de plastiques transitant en Seine : quelles méthodes pour quels résultats ? *TSM. Techniques Sciences Méthodes – Génie urbain, génie rural*, 15-26. 10.1051/tsm/201901015
- Tramoy, R., Gasperi, J., Dris, R., Colasse, L., Fisson, C., Rocher, V., Tassin, B. (2019). Flux et dynamique de transfert des macroplastiques du continent à la mer : le cas de la Seine. Premières rencontres nationales du GDR Polymères et Océans Université Paris-Est Créteil, 24 – 26 juin 2019
- Ugoeze, K.C., Amogu, E.O., Oluigbo, K.E., Nwachukwu, N. (2021). Environmental and public health impacts of plastic wastes due to healthcare and food products packages : A Review. *Journal of Environmental Science and Public Health* 5, 1-31.
- Valleix, M. (2021). Les études de métabolisme Territorial état des lieux et perspectives, L'institut Paris Région.
- Verhaeghe, L. (2021). Renouveau des relations villes-campagnes et transition socio-écologique : quelles perspectives pour le métabolisme ? Thèse de Doctorat. Université Panthéon-Sorbonne - Paris I.
- Vernier, J. (2024). La REP (Responsabilité des producteurs en matière de déchets) : une solution pour la diminution des plastiques. *Annales des Mines - Responsabilité & environnement*, 86-90. <https://doi.org/10.3917/re1.116.0086>.
- Wagner, S., Schlummer, M. (2020). Legacy additives in a circular economy of plastics : Current dilemma, policy analysis, and emerging countermeasures. *Resources, Conservation and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104800>
- Watteau, F., Dignac, M-F., Bouchard, A., Revallier, A., Houot, S. (2018). Microplastic Detection in Soil Amended With Municipal Solid Waste Composts as Revealed by Transmission Electronic Microscopy and Pyrolysis/GC/MS. *Frontiers*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00081>
- Yan, H., Cordier, M., Uehara, T. (2024). Future Projections of Global Plastic Pollution: Scenario Analyses and Policy Implications. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16020643>
- Yarsley, V. E., Couzens, E. G. (1945). *Plastics*. Pelican Books.
- Zalasiewicz, J., Waters, C. N., Ivar do Sul, J. A., et al. (2016). The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. *Anthropocene*, 4-17. 10.1016/j.ancene.2016.01.002
- Zahm, S., Bonde, J-P., Chiu, W., Hoppin, J., Kanno, J., Abdallah, M., and al. (2024). Carcinogenicity of perfluorooctanoic acid and perfluorooctanesulfonic acid. *The Lancet Oncology*, 16-17.
- Zhang, J., Hoshino, K. (2019). Chapter 7 - Nanomaterials for molecular sensing. *Molecular Sensors and Nanodevices (Second Edition) Principles, Designs and Applications in Biomedical Engineering Micro and Nano. Technologies*, 413-487. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814862-4.00007-7>
- Zettler, E., Mincer, T., Amaral-Zettler, L. (2013). Life in the “Plastisphere”: Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology*. 10.1021/es401288x

Ouvrages et rapports techniques

- Ademe. (2016). Plastiques biodégradables
- Ademe. (2020). Bilan National du Recyclage 2008-2017 – Rapport méthodologique.
- Ademe. (2022). Bilan National du Recyclage 2010-2019.
- Ademe. (2020). Analyse de la gestion des déchets de véhicules hors d'usage.
- Ademe. (2021). Étude sur la gestion des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE).
- Ademe. (2022). Gisements de déchets plastiques pouvant être traités par recyclage chimique et physico-chimique en France.
- Ademe. (2025). Mémo des REP données 2023.
- Afnor. (2013). NF EN ISO 472 Plastiques -Vocabulaire.
- Afnor. (2022). NF EN 17615 Plastiques - Aspects environnementaux -Vocabulaire.
- Boucher, J., Friot, D. (2017). Primary Microplastics in the Oceans: A Global, Evaluation of Sources. Gland, Switzerland: IUCN. p. 43. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2017.01.en>
- Break Free From Plastic. (2023). Branded 6 Holding the World's Worst Plastic Polluters Accountable Annually Since 2018.
- Citeo. (2023). Le guide de l'éco-modulation des emballages 2023.
- Citeo. (2023). Atlas historique de la collecte sélective, édition 2023.
- Citeo., Adelphe. (2021). Rapport d'activité Citeo et Adelphe.
- Conseil Fédéral. (2022). Matières plastiques dans l'environnement
- Cour des comptes. (2022). Prévention, collecte et traitement des déchets ménagers : une ambition à concrétiser
- Ellen MacArthur Foundation. (2016). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics.
- Ellen MacArthur Foundation. (2017). The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics & catalysing action.
- Ellen MacArthur Foundation. (2023). The Global Commitment 2023 Progress Report.
- European Commission. (2021). Plastic waste and recycling in the EU: facts and figures.
- Federec. (2018). Le marché du recyclage, envisager le déchet comme la ressource de demain.
- Federec. (2020). Les plastiques dans le bâtiment : état des lieux et perspectives.
- Greenpeace. (2021). Urgence climatique : le grand déballage – comment les entreprises de produits de grande consommation alimentent l'expansion plastique du secteur pétrolier.
- Haddad, R., Sebah, C., Baric, C. (2019). Manuel d'écriture inclusive faites progresser l'égalité femmes-hommes par votre manière d'écrire, Agence de communication d'influence Mots-Clés.
- IEA. (2018). The Future of Petrochemicals Towards more sustainable plastics and fertilisers.
- IEA (2022). World Energy Outlook 2022.
- Jacob, L. (2022). Re fashion quel avenir pour la filière CSR en France ?

- Masségli, D. (2023). Rapport fond n° 763, Assemblée Nationale.
- Ministère de la transition écologique (2022). Stratégie 3R (Réduction, Réemploi, Recyclage) pour les emballages en plastique à usage unique.
- Ministère de la Transition Ecologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche. (2025). Plan plastique 2025-2030, dossier de presse.
- Ministère de la Transition écologique, de la biodiversité, de la forêt, de la mer et de la pêche, (2025). Stratégie nationale pour la réduction, le réemploi et le recyclage des emballages en plastique à usage unique (Stratégie 3R) Présentation du bilan intermédiaire.
- Mission d'information, (2024). Rapport d'information déposé en application de l'article 145-7 du Règlement.
- National Academies of Science (2004). Facilitating Interdisciplinary Research, Washington, DC, National Academies Press.
- OCDE. (2018) Improving Plastics Management: Trends, policy responses, and the role of international co-operation and trade.
- OCDE. (2022). Les perspectives mondiales des plastiques : Scénarios d'actions à l'horizon 2060.
- OCDE. (2023). Perspectives mondiales des plastiques déterminants économiques, répercussions environnementales et possibilités d'action.
- Outters-Pehinec, M et *al.* (2024). Performances et gouvernance des filières à responsabilité élargie du producteur. IGF, IGEDD, Conseil général de l'économie.
- Outters-Pehinec, M., De Miguel, K coord. (2020). Les additifs toxiques du plastique et l'économie circulaire. IPEN.
- Plastics Europe. (2008). The Compelling Facts About Plastics 2007. An analysis of plastics production, demand and recovery for 2007 in Europe.
- Plastics Europe. (2018). Plastics – the Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data.
- Plastics Europe. (2020). Plastics – the Facts 2020. An analysis of European plastics production, demand and waste data.
- Plastics Europe. (2022). Plastics- the facts 2022.
- Plastics Europe. (2024). Plastics- the facts 2024.
- Plastics Europe. (2024). The Circular Economy for Plastics – A European Analysis 2024
- Plastics Recyclers Europe. (2022). Plastics recycling industry figures 2022 mapping of installed capacities.
- PIPAM., Advancy. (2014). Benchmark européen sur les plateformes chimiques, quels sont les leviers pour améliorer la compétitivité des plateformes françaises ?
- PNUE. (2018). Single-use plastics: A roadmap for sustainability.
- Polyvia. (2021). Panorama de la plasturgie et des composites 2021.
- Polyvia. (2023). Conférence annuelle POLYVIA : Bilan économique du secteur de la plasturgie et des composites et perspectives 2025. Dossier de presse.
- Syndicat des Régénérateurs de matières Plastiques. (2022). Statistiques SRP 2022.
- ZEROWASTE France. (2024). Évaluation de la loi AGEC 4 ans après, quel bilan pour la réduction des déchets ?

Publications médiatiques

Barthes, R. (1957). Mythologies Le plastique.

Citeo. (2022). Tri et recyclage des bouteilles en plastique : on fait le point !

Gewin, V. (2023). Plastic rocks are threatening wildlife on Brazil's easternmost island - I'm studying how. Nature.

Guichardaz, O. (2014). Clause de revoyure : comment ça marche ? Comment Eco-Emballages a divisé pour régner. Déchets infos n° 41.

Guichardaz, O. (2016). PET opaque : la responsabilité diluée des producteurs. Déchets infos n° 104.

Guichardaz, O. (2021). Plastiques : du « 100 % recyclé » au « 100 % recyclable », le glissement d'une promesse. Déchets Infos n° 198.

Guichardaz, O. (2022). Consigne le gouvernement veut associer les collectivités. Déchets infos n° 240.

Guichardaz, O. (2023). Bouteilles plastiques 90% de collecte : possible sans consigne. Déchets infos n° 256.

Guichardaz, O. (2024). Plastiques. Recyclage chimique : deux projets sur quatre stoppés. Déchets infos n° 287.

Guichardaz, O. (2024). Contribution plastique. La France toujours en tête. Déchets Infos n° 284.

Le Monde Diplomatique. (2021). Déferlement de déchets plastiques en Asie du Sud-Est.

Messal, R. (2014). Les déchets plastiques en mer, un « 7^e continent » ? Société chimique de France, l'actualité chimique, n° 386.

Table des figures

Cartes

1 : Traitement majoritaire des déchets plastiques en 2020 en Europe	65
2 : Exportations mondiales des déchets plastiques en 2022	67
3 : Exportations mondiales de produits en plastique en 2020	187
4 : Importations mondiales de produits en plastique en 2020	187
5 : Nombre d'entreprises de la plasturgie par région française	189
6 : Représentation non exhaustive des plasturgistes français et des matières qu'ils transforment	191
7 : Recyclage des déchets d'emballages plastiques par pays européen	213
8 : Nombre de centres de tri par régions	228
9 : Représentation des régénérateurs français et des résines recyclées	235

Encadrés

1 : Un florilège d'expression scientifique sur l'« ère plastique » dite « Plasticocène »	41
2 : Roland Barthes Mythologies (1957) Le plastique	52
3 : L'exportation, autre solution de traitement des déchets plastiques européen	66
4 : Les alertes de la communauté scientifique sur la pollution plastique	73
5 : Quand le déchet alimente le déchet	84
6 : Le recyclage chimique, un complément de solution très énergivore	94
7 : L'expérience interdisciplinaire de la thèse	100
8 : Forme d'interdisciplinarité développée dans cette thèse	108
9 : Posture et déroulement des entretiens	173

Figures

1 : Processus industriel de fabrication du plastique pétrosourcé	45
2 : Représentation d'une macromolécule à partir de monomères : exemple du PVC	46
3 : Bilan matières des plastiques mondiaux en 2019 en Mt	57
4 : Production mondiale de déchets plastiques selon les domaines d'utilisation, en Mt	58
5 : Hiérarchie des modes de traitement des déchets	59
6 : Actions de dégradation et fragmentation des plastiques	69
7 : Représentation des macro, micro et nanoplastiques	70

8 : Évolution des publications internationales sur les plastiques	73
9 : Directives européennes et lois françaises sur les plastiques	79
10 : Frise chronologique des générations de plastiques	86
11 : Des résines difficilement compatibles avec le recyclage, l'exemple des principaux thermoplastiques	97
12 : « Plus on sait... plus on sait qu'on ne sait pas. »	102
13 : Schématisation du système disciplinaire	104
14 : Schématisation du système interdisciplinaire	106
15 : Les différentes formes interdisciplinaires	108
16 : La boîte holistique	112
17 : Schématisation de la théorie des transitions multi-niveaux appliquée aux plastiques	117
18 : Représentation des flux plastiques par l'Ademe	123
19 : Représentation graphique des flux plastiques par Plastics Europe	124
20 : Représentation des flux plastiques par l'État français	126
21 : Les étapes clés des flux plastiques	134
22 : Bilan matières des plastiques en France en 2018 en kt	142
23 : Circulation du plastique recyclé en France en 2018	147
24 : Bilan matières des plastiques en France en 2022	150
25 : Zoom sur les flux entrants de plastiques en France en 2022	151
26 : Augmentation des flux plastiques entre les années 2018 et 2022	156
27 : Évolution des flux plastiques en fin d'usage de 2006 à 2022 (en kt)	157
28 : Évolution de la production de déchets plastiques	158
29 : Évolution des MPR par rapport à la production de déchets plastiques	159
30 : Évolution de la quantité de déchets non recyclés	160
31 : Les acteurs de la chaîne de valeur des plastiques française rencontrés dans le cadre de la thèse	170
32 : Les acteurs de la fabrication des plastiques	176
33 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des producteurs européens de résines plastiques	182
34 : Graphique représentant le nombre des plasturgistes français en 2021	190
35 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des plasturgistes français	194
36 : Les acteurs de la consommation des plastiques	199
37 : Les jeux d'acteurs des metteurs sur le marché français d'emballages plastiques	205
38 : Acteurs de la gestion des déchets	211
39 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des acteurs publics	219
40 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des éco-organismes	225

41 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des collecteurs et trieurs des déchets	233
42 : Les jeux d'acteurs des plastiques autour des régénérateurs	237
43 : Un jeu d'acteurs en cascade en réponse à la mise en ordre réglementaire	241
44: Jeu d'acteurs en cascade de la filière française des styréniques	243
45 : Gradient de l'économie circulaire des plastiques	245

Photographies

Photographie 1 : Bouteille en plastique réutilisée en pot de fleurs	61
Photographie 2 : Éco-cup réemployable	61
Photographie 3 : État de la matière plastique recyclée mécaniquement	62
Photographie 4 : Indication de plastique recyclé sur une bouteille de soda	84
Photographie 5 : Déchets d'emballages ménagers plastiques sur un tapis roulant de centre de tri	229
Photographie 6 : Bouteilles plastiques compactées et mises en balle au centre de tri	230
Photographie 7 : Communication sur le réemploi	250
Photographie 8 : Exemples de plastiques recyclés par Precious Plastic Touraine	252

Tableaux

1 : La première génération de plastiques : les plastiques semi-synthétiques du XIX ^e siècle	44
2 : La deuxième génération de plastiques : les plastiques synthétiques du XX ^e siècle	50
3 : La troisième génération de plastiques : les plastiques performants du XX ^e et XXI ^e siècle	55
4 : La quatrième génération de plastiques : les plastiques écologiques du XXI ^e siècle	85
5 : Classification des matières plastiques par famille	92
6: Sources de données des étapes de la filière des plastiques française en 2018	137
7 : Source de données des étapes de la filière des plastiques française en 2022	140
8 : Typologie des acteurs rencontrés	171
9 : Chronologie des filières REP françaises	215

Table des matières

Sommaire	3
Remerciements	7
Avant-propos	9
Liste des sigles et acronymes	11
Conventions d'écriture	13
Introduction générale	15
Un objet d'étude insaisissable	15
Une matière qui résiste	15
Une promesse est une promesse	18
L'interdisciplinarité au service de la compréhension des plastiques, un objet d'étude complexe	22
Un objet d'étude complexe	22
La rudochimie	24
Une approche métabolique pour étudier les dynamiques des flux plastiques français	27
Un cadre analytique	27
Une méthodologie mixte	29
Méthodologie quantitative	30
Méthodologie qualitative	31
Questionnements de recherche : circulations des flux plastiques et rapports de pouvoir	33
Organisation du manuscrit	34
Chapitre 1 : De la production à la pollution : les trajectoires problématiques des plastiques	41
Homo plasticus : du tout fabriquer au tout consommer	43
Première génération : les plastiques d'origine naturelle	43
Deuxième génération : les plastiques synthétiques	45
La formulation des matières plastiques	45
Développement des plastiques synthétiques	47
Troisième génération : les plastiques performants	53
Homo detritus : du tout acheter au tout à jeter	56
Une production de déchets ayant des impacts sur le temps long	56
Une hiérarchie (fictive) des modes de traitement en Europe	58
De la prévention au stockage des déchets plastiques	59
Des disparités de traitement des déchets plastiques au sein de l'UE	64
Lorsque les plastiques deviennent invisibles : micro et nanoplastiques	68

Chapitre 2 : Homo circulus : du tout à jeter, au tout à recycler	75
Les plastiques dans le viseur des textes législatifs pour une économie circulaire : perspectives européennes et françaises	75
Un cadre européen de plus en plus exigeant	76
La France : un volontarisme périodique	78
Les plastiques écologiques et circulaires : une véritable solution ?	81
Quatrième génération : les plastiques écologiques	82
Aura-t-on besoin d'une cinquième génération ?	86
Les déchets plastiques qui résistent au recyclage	86
La dégradation des plastiques par le recyclage	87
Les additifs : un obstacle à la valorisation des plastiques	88
Trois grandes familles de polymères aux enjeux et aux caractéristiques de recyclabilités différentes	89
Les thermoplastiques : champions « théoriques » du recyclage	89
Les thermodurcissables : impossibles à recycler	90
Les élastomères : un recyclage possible, mais complexe	90
Les plastiques composites et multicouches : d'autres plastiques non recyclables	93
Pas « un » recyclage, mais « des » recyclages	95
Une multitude de termes techniques et de voies de recyclage	95
La domination du recyclage en boucle ouverte	96
Chapitre 3 : Une approche interdisciplinaire pour investiguer les déchets plastiques	99
L'objet complexe qui justifie l'interdisciplinarité	101
De multiples façons de franchir la frontière disciplinaire	102
Définir l'interdisciplinarité comme choix méthodologique	106
Le métabolisme et l'interdisciplinarité comme outils pour comprendre les systèmes complexes	109
Les systèmes complexes appréhendés par l'interdisciplinarité	109
Complexité et interdisciplinarité	109
Analogie de la « boîte noire »	111
Des approches métaboliques pour comprendre les transformations de systèmes sociotechniques complexes	112
L'interdisciplinarité dans les études du métabolisme territorial	112
Les systèmes socioécologiques en transition comme cadre d'étude des plastiques	115
Conclusion partie 1	118
Chapitre 4 : Une méthodologie quantitative pour appréhender les flux plastiques	121
Un affichage des données chaque fois orienté par un projet politico-économique	121
Un recensement des données semé d'embûches	127
Choix et adaptations méthodologiques pour la quantification des flux plastiques	127

Les données quantitatives existantes et leurs limites	129
Les données disponibles pour 4 analyses de flux	129
Les limites des données et les ajustements méthodologiques	132
Les étapes constitutives de la circulation des flux plastiques	133
La représentation graphique des flux	133
Les données utilisées	135
<i>Pour l'année 2018</i>	135
<i>Pour l'année 2022</i>	137
Chapitre 5 : Le métabolisme national des plastiques : une fin de vie à dominante linéaire	141
Le métabolisme français des plastiques en 2018	141
La production française de plastique	141
Des objets aux déchets plastiques	143
Le stock de matières plastiques	144
Les voies de traitements des déchets plastiques	144
Les fuites de plastiques vers l'environnement	145
La réincorporation des plastiques recyclés : la presque exclusivité des boucles ouvertes	146
Comparatif 2022 des matières plastiques : quelles évolutions par rapport à 2018 ?	149
Une dépendance aux échanges internationaux révélée	151
Une évolution de l'utilisation des plastiques et des échanges commerciaux	153
Une hausse des quantités de déchets	154
Un système productiviste soutenu par le recyclage	155
Une évolution lente des flux en fin d'usage	156
Conclusion partie 2	163
Chapitre 6 : Une enquête de terrain pour comprendre et analyser le système d'acteurs en place	167
À la rencontre des acteurs de la filière plastique française	168
Une grille d'entretien pour analyser les jeux d'acteurs de la filière plastique	171
Chapitre 7 : Structuration de la chaîne d'acteurs française des matières plastiques	175
Les acteurs de la fabrication des plastiques	175
Les extracteurs, raffineurs et pétrochimistes : des collaborations stratégiques pour transformer les sous-produits pétroliers en plastiques	176
Un contrôle puissant de la matière : du pétrole brut aux matériaux synthétiques	176
La pétrochimie française : en quête de légitimité	180
Communication circulaire ou véritable transformation industrielle ?	183
Les plasturgistes : pris entre les exigences du marché et la défense de leurs intérêts	185
Les procédés de transformation des polymères	185

Les plasturgistes français, face aux exigences du marché	186
Une organisation d'acteurs structurée pour défendre les intérêts de la profession	193
Le positionnement des plasturgistes face à la circularité des matières plastiques : entre ambitions et contraintes	197
Les acteurs de la consommation des produits plastiques : moteur d'influence sur la production et la demande	198
Les metteurs sur le marché : entre coopérations et influences industrielles pour le maintien du plastique jetable	199
Des logiques industrielles et commerciales internationales	200
Metteurs sur le marché français, le cas des emballages plastiques alimentaires	201
Organisation collective des acteurs des emballages plastiques	204
La circularité des plastiques vue par les metteurs en marché : d'une contrainte réglementaire à une dynamique collective	205
Une société civile autant consommatrice qu'actrice de changement ?	206
Une consommation responsable des plastiques, est-elle possible ?	206
Une société civile opposante aux plastiques	208
Gestion des déchets : des acteurs au cœur du système, mais aux marges de manœuvre limitées	210
Les pouvoirs publics et établissements publics : une politique centrée sur le recyclage des déchets plastiques	211
L'État et l'Europe pour poser les objectifs	212
France 2030 comme levier d'accélération de la stratégie nationale d'accélération du recyclage	216
Les acteurs publics locaux : une maîtrise difficile des flux plastiques	218
<i>Les intercommunalités gestionnaires de terrain des déchets</i>	219
Les régions acteurs de planification et de coordination	221
Les éco-organismes : un pouvoir prédominant	223
Du contrôle en amont à l'opérationnalisation du recyclage en aval : l'élargissement du rôle des éco-organismes	223
Le poids dominant de Citeo et ses limites pour la circularité des plastiques	226
Les collecteurs et trieurs : entreprises dites de recyclage	227
Les collecteurs et trieurs de déchets plastiques	227
Des nouveaux plastiques collectés et triés impactant les entreprises de recyclage	231
Les régénérateurs de « matières plastiques » et non de « déchets plastiques »	233
Le secteur français de la régénération des matières plastiques	233
L'impact des évolutions réglementaires sur la reconfiguration des relations entre régénérateurs et acteurs de la chaîne de valeur du recyclage des plastiques	235
Un changement de vocabulaire pour légitimer la circularité des matières plastiques	237

Chapitre 8 : La filière plastique entre résistances et ajustements face aux transformations en cours	239
Une économie circulaire performative, non encore « authentique », des plastiques	239
Le rôle central du réglementaire dans le passage du discours à l'action	240
Des visions diversifiées de la circularité des plastiques	245
Des initiatives de circulation des plastiques à l'échelle locale	247
Le réemploi : l'échelle locale privilégiée	247
Des boucles courtes de recyclage	251
Un recyclage hors filière et low-tech possible	251
Conclusion de la partie 3	253
Conclusion générale	255
Les contributions de la recherche	255
Les apports d'une recherche interdisciplinaire	255
Les apports d'une lecture complexe des plastiques	256
Les apports d'une double lecture métabolique des flux plastiques	256
Les apports d'une analyse quantitative	257
Les apports d'une analyse qualitative	258
Les limites rencontrées et perspectives de recherche	260
Poursuivre la recherche au contact des matières plastiques	260
Le bon usage des matériaux plastiques	261
Bibliographie de la conclusion	263
Bibliographie	265
Ouvrages et articles scientifiques	265
Ouvrages et rapports techniques	275
Publications médiatiques	277
Table des figures	279
Cartes	279
Encadrés	279
Figures	279
Photographies	281
Tableaux	281

Table des matières	283
Annexes	289
Annexe 1 : Grille d'entretien type	289
Annexe 2 : Tableau des observations de terrain	290
Annexe 3 : Tableaux des matières plastiques	291

Annexes

Annexe 1 : Grille d'entretien type

Thématiques	Questions
Présentation interlocuteur	Pouvez-vous me parler de votre poste actuel et de votre parcours qui vous a mené à travailler autour de la matière plastique ? Pouvez-vous me présenter votre structure ?
Généralités sur la gestion française des déchets plastiques	Quelle est votre vision de la gestion des déchets plastiques en France ? Quelle est votre vision du recyclage des matières plastiques en France ? Quelles sont les actions de votre structure pour faire évoluer le recyclage des plastiques ? Selon vous quels sont les freins et les opportunités des filières de recyclage des plastiques ? (Économique et réglementaire ?) Que pensez-vous de l'incorporation des matières plastiques recyclées ?
Cadre réglementaire	La réglementation actuelle pousse vers plus de circularité des matières plastiques. Pour vous, il y a-t-il une économie circulaire des plastiques en France ? Quelles sont les impacts des nouvelles réglementations pour votre secteur d'activité ? Ressez-vous de fortes pressions réglementaires ?
Économie circulaire des plastiques	Pensez-vous que l'économie circulaire permet d'apporter une dynamique nouvelle et de coopération entre les acteurs de la filière ? Pour vous, à quelle échelle doit se développer l'économie circulaire des plastiques ? L'économie circulaire est-elle réalisable pour tous les types de plastiques ? Observez-vous des différences de maturité entre les acteurs (recycleurs, trieurs, industriels, institutionnels, etc) dans le développement d'action en faveur de l'économie circulaire ?
Bilan matières – données quantitatives	Pouvez-vous commenter les deux schémas des acteurs ADEME et Plastics Europe ? Êtes-vous d'accord avec les tonnages annoncés par Plastics Europe et l'Ademe ?
Conclusion	Pour vous qu'elle est la tendance / la veille à regarder de prêt pour l'avenir des filières des plastiques (recyclage chimique ? Nouvelles REP ? ACV ?) Aimeriez-vous parler d'un point qui vous paraît important et que l'on n'a pas abordé ? Auriez-vous des personnes à me recommander pour poursuivre mes entretiens ? Puis-je les contacter de votre part ?

Annexe 2 : Tableau des observations de terrain

Structure	Type observation	Personnes rencontrées
Réseau vrac et réseau réemploi	Salon du réemploi (conférences)	Acteurs économiques du réemploi et acteurs associatifs du réemploi
Valor Pôle 72	Visite centre de tri	Employé responsable des caractérisations
Trivalis	Visite centre de tri	Deux employés animateurs des visites du centre de tri
IPC/CITEO	Ligne pilote de recyclage des plastiques	Un responsable de la ligne de recyclage et un employé qui réalise les tests de recyclage
FEDEREC	Conférences : Journée mondiale du Recyclage	Recycleurs
IPC	Conférence : Plasturgie & économie circulaire	Plasturgistes et chercheurs
Polyvia / ICAM/ Polymeris	Tech day recyclage	Plasturgistes, recycleurs, bureaux d'études et pouvoirs publics
Assises nationales des déchets	Table ronde plastique	Acteurs variés : chercheurs, gestionnaires de déchets, pouvoirs publics, etc.
Ligépack	Conférence : veille réglementaire, Recyclage chimique et mécanique	Metteurs sur le marché
Precious Plastic Touraine	Visite de la chaîne de recyclage low tech	Gérants de l'association, employés et stagiaires

Annexe 3 : Tableaux des matières plastiques

Première génération : les plastiques semi-synthétiques			
Polymères plastiques	Année de découverte ou de production industrielle	Chimiste(s)	Nom connu du grand public ¹⁸⁷
Caoutchouc naturel	1839	Charles Goodyear	Caoutchouc
Nitrate de cellulose	1862	Alexander Parkes	Parkésine
Huile de lin oxydée	1863	Frederick Walton	Linoléum
Nitrate de cellulose	1868	John Wesley Hyatt	Celluloïd
Acétate de cellulose	1884	Hilaire de Chardonnet	Viscose ou « soie artificielle »
Caséine	1889	Jean-Jacques Trillat	« Pierre de lait »
Caséine	1897	Wilhelm Krische et Adolf Spitteler	Galathile

Deuxième génération : les plastiques synthétiques			
Polymères plastiques	Abréviation	Chimiste(s) ou entreprise	Nom connu du grand public
Polychlorure de vinyle	PVC	Eugen Baumann (1872)	
Phénoplaste		Leo Baekeland (1909)	Bakélite
Cellulose régénérée		Jacques E. Brandenberger (1915)	Cellophane
Alkyde		Kienle (1926)	Glyptal
Polyméthacrylate de méthyle	PMMA	Otto Röhm (1927)	Plexiglas
Aminoplaste		Pollak (1928)	Pollopas
Polystyrène	PS	IG Farben (1930)	
Mélatamine		BASF (1935)	
Polyamide 6-6	PA66	Roy Plunkett, Rack Rebok (1938)	Nylon
Polyamide 6	PA6	Paul Schlack (1938)	Perlon
Polytétrafluoroéthylène	PTFE	Roy Plunkett (1938)	Téflon
Polyéthylène haute densité	PEHD	ICI UK (1937)	
Polyuréthane	PU	Otto Bayer (1940)	
Silicone		Frederic Kipping (1941)	
Polyéthylène téréphtalate	PET	John Rex Whinfield et James Tennant Dickson (1941)	
Acrylonitrile-Butadiène-styrène	ABS	US Rubber Company (1946)	

¹⁸⁷ Provient souvent de la marque ou de l'abréviation du polymère.

Epoxyde	EP	Pierre Castan (1946)	Araldite
Polyamide 11	PA11	Société Organico (1947)	Rislan
Polystyrène expansé	PSE	Fritz Stastny (1951)	Styropor
Polyoxyméthylène ou polyformaldéhyde ou polyacétal	POM	Dupont de Nemours (1953)	Derlin
Polyacrylonitrile	PAN	Bayer (1954)	
Polyéthylène basse densité	PEBD	Karl Ziegler (1955)	
Polypropylène	PP	Guilio Natta (1957)	
Polycarbonate		Hermann Schnell (1957)	Lexan
Ionomère		Dupont de Nemours (1965)	Surlyn

<i>Troisième génération : les plastiques performants</i>		
Les polymères de hautes performances		
Sous-famille	Polymères	Abréviations
Polymères thermoplastiques semi-cristallins	Polyéthercétonecétone	PEKK
	Polyether Ether Ketone	PEEK
	Polyphthalamides	PPA
	Polyarylamide	PARA
	Polyfluorure de vinylidène	PVDF
	Polymère à cristaux liquides	LCP
	Polysulfure de phénylène)	PPS
	Polyamide 11	PA11
	Polyamide 12	PA12
Polymères thermoplastiques amorphes	Polybenzimidazole	PBI
	Les polyimides	PI
	Les polyamide-imides	PAI
	Polyphénylsulfone	PPSU
	Polyéthérimide	PEI
	Polyéthersulfone	PESU
	Polysulfone	PSU
	Polyphénylène oxyde	PPO
Élastomères	Perfluoroélastomère	FFKM
	Fluoroélastomères	FKM
	Polysiloxanes	Silicones
	Polyéther bloc amides	PEBA
Polymères fluorés	Polytétrafluoroéthylène	PTFE
	Copolymère éthylènepropylène fluoré	FEP
	Polyamides aromatiques	
	Polybismaléimides	BMI
	Polybenzimidazoles	PBI
Les polymères techniques		

Polymères thermoplastiques amorphes	Polycarbonate	PC
	Poly(éther de p-phénylène)	PPE
	Poly(méthacrylate de méthyle)	PMMA
	Acrylonitrile butadiène styrène	ABS
	Copolymère Oléfine Cyclique	COC
Polymères thermoplastiques semi-cristallins	Poly(téréphtalate de butylène)	PBT
	Polyamides 66	PA66
	Polyamides 6	PA6
	Polyoxyméthylène	POM
Élastomères	Copolymère séquencé polyester-polyéther	COPE
	Polyuréthane thermoplastique	TPU

Quatrième génération : les plastiques écologiques	
Matériau	Producteur(s)
Bio-Caprolactone	Ingevity UK Ltd,
Bio-PA	Arkema, Evonik, BIO-FED, DuPont, FKUR Kunststoff, Addiplast
Bio-PE	FKUR Kunststoff, LyondellBasell/Neste,
Bio-PET	FKUR Kunststoff, Mosca GmbH, Roquette
Bio-PP	LyondellBasell/Neste, Mosca GmbH,
Bio-TPE	API, DuPont, Hexpol TPE
Bio-TPU	API, Roquette, Covestro
Bio-TPC	DSM
Bio-PEBA	Arkema
PEF	Avantium, Synvina,
Bio-PC	Sabic
Cellulosiques (CA, CAP)	Eastman, Rotuba, Albis
Mélanges d'amidon	Agrana Stärke, BIOTEC, Indochine Bio Plastiques, Novamont, Roquette, Tecnar, Vegeplast
PBAT	BASF, BIO-FED, Jinhui Zhaolong High Tech, Toro Gips S.L., Xinjiang Blue Ridge Tunhe Polyester
PBS	BIO-FED, DSM, Mitsubishi Chemical Europe, PTT, Reverdia, Roquette, Sinopec, Sirim Berhad, Xinjiang Blue Ridge Tunhe Polyester
PHA	BIO-FED, Bio-on, CheilJedang Bio, Cristal Union, Danimer Scientific, Kaneka Corporation, Moore Capital, Shandong Ecomann Technology, TianAn Biologic Materials, Tianjin GreenBio Materials, Yield10 Bioscience
PLA	BASF, BIO-FED, BIOTEC, Braskem, Carbiolice, Cofco, Danimer Scientific, Evonik, FKUR Kunststoff, Galactic, Mosca GmbH, NatureWorks, PTT, Sulzer Chemtech, Synbra Technology, Teijin, Toro Gips S.L., Total Corbion PLA, Uhde Inventa-Fischer, Zhejiang Hisun-Gruppe
Polyesters biodégradables	API, BASF, Carbiolice, Ingevity UK Ltd, Kureha, Kaneka Corp., Novamont, Roquette, Shanxi Jinhui Energy Group Limited, TIPA Corp
PTT	DuPont
Base caséine	Lactipcs

Classification des matières plastiques par famille

Famille des Thermoplastiques			
Sous-famille	Polymères	Abréviations	Exemples d'objets
Polyoléfines	Polyéthylène	PE	Coques de bateau, canalisations...
	Polyéthylène basse densité	PEBD	Emballages, tuyaux, câbles...
	Polyéthylène basse densité linéaire	PEBDL	Sacs, films...
	Polyéthylène haute densité	PEHD	Jouets, emballages...
	Polypropylène	PP	Emballages, voitures, textiles...

Polyvinyliques	Polychlorure de vinyle Poly-acétate de vinyle Polychlorure de vinylidène Polybutyral Polyalcool vinylique	PVC PVAC PVDC PVB PVAL	Tissus, gaines, bâches, tuyaux, fenêtres... Peintures, vernis... Films... Vernis... Liant pour colles...
Polystyréniques	Polystyrène Polystyrène expansible Copolymères styrène-acrylonitrile Terpolymère acrylonitrile-butadiène-styrène Méthylméthacrylate butadiène styrène Styrène butadiène styrène Thermofusibles styrène isoprène styrène	PS PSE SAN ABS MBS SBS SIS	Emballages, réfrigérateurs... Emballages, isolations... Tuyaux, menuiseries, navires, appareils sanitaires, véhicules... Appareils électroménagers... Coffres, pare-chocs... Équipements médicaux, appareils ménagers, stylos, boîtes alimentaires... Bitume... Chaussures, additifs...
Polyacryliques	Polyméthacrylate de méthyle Polyacrylonitrile	PMMA PAN	Vitrages, verres de lunettes, règles... Textiles, films...
Polyamides	Polyamides 6, 11, 12, etc	PA	Textiles, prises, électroménagers...
Polycarbonates	Polycarbonates	PC	Disques, casques, vitrages...
Cellulosiques	Acétate de cellulose Nitrate de cellulose	CA CN	Fibres, vernis, films... Peintures, laques, encres, colles...
Polyesters linéaires ou saturés	Polyéthylène téréphtalate Polybutylène téréphtalate Polytétraméthylène	PET PBTB PTMT	Emballages, textiles... Pièces isolantes, interrupteurs...
Polyfluorethènes	Polytétrafluoréthène Polychlorotrifluoréthylène Polyfluorure de vinylidène	PTFE PCTFE PVDF	Revêtements antiadhésifs, tuyaux, joints... Revêtements artificiels... Revêtements artificiels...
Polyacétals	Polyoxyméthylène	POM	Engrenages, robinetterie, outillage...
Polysulfones		PSU	Peintures, vernis
Polysulfure de phénylène		PPS	Pièces anticorrosion, ustensiles culinaires, revêtements anti-adhérents...
Polyoxyphénylène modifié		PPO	Véhicules, isolateurs électriques, applications aérospatiales...
Famille des Thermodurcissables			
Polyesters insaturés		UP	Laques, vernis, colles...
Phenoplastes	Phénol-formol	PF	Encres, mousses, peintures...
Aminoplastes	Urée-formol	UF	Adhésif industriel du bois
	Mélamine-formol	MF	Bois formica
Polyépoxydes		EP	Revêtements, peintures...
Polyimides		PI	Films, circuits imprimés, câbles...
Polyuréthanes		PUR	Mousses, préservatifs, vernis, colles...
Polyoranolsiloxanes		SI	Cosmétiques, huiles, graisses, tuyaux...
Famille des Élastomères			

Caoutchoucs à usages généraux	Caoutchouc naturel Polyisoprène de synthèse Copolymères de butadiène styrène Polybutadiènes	NR IR SBR BR	Jouets... Gommes des pneumatiques... Semelles des chaussures, gomme des pneus... Semelles des chaussures, gomme des pneus...
Caoutchoucs spéciaux	Co- ou terpolymères d'éthylène propylène et diène Copolymères d'isobutylène isoprène, chlorés ou bromés Copolymères de butadiène acrylonitrile Polychloroprènes	EPM et EPDM IIR, BIIR, CIIR NBR CR	Joints d'étanchéité, automobile, lave-linge... Caoutchouc Gants médicaux, gainage de câbles... Colles...
Caoutchoucs très spéciaux	Caoutchoucs de silicone Élastomères fluorés Polyéthylènes chlorés et chlorosulfonés Polyacrylates Copolymères éthylène acétate de vinyle Éthylène acrylate de méthyle Caoutchoucs nitrile hydrogénés Caoutchoucs d'épichlorhydrines Polyuréthanes malaxables	V M Q , FVMQ FKM CM, CSM ACM EVM AEM HNBR CO, ECO, GECO AU, EU	

Titre : Métabolisme français des plastiques : entre résistance des matières et des acteurs et promesse de circularité

Mots clés : Plastiques, Métabolisme, France, Déchets, Circularité, Interdisciplinarité

Résumé : Les plastiques sont au cœur des sociétés contemporaines par leur omniprésence quotidienne dans les activités de production et de consommation. Utilisé dans de nombreux secteurs d'activités industrielles depuis le début du 20^e siècle, ce matériau synthétique est devenu indispensable tant pour ses propriétés de flexibilité, d'hygiène, que pour sa résistance et sa persistance dans le temps. À ce jour, plus de 5 300 formulations de plastiques sont disponibles sur le marché (Fini, 2021), ce qui rend la gestion de ces futurs déchets particulièrement complexe. Chaque type de plastique nécessite des méthodes de traitement spécifiques, dont certaines sont encore en phase de développement et de recherche. En 2021, seuls 9 % des plastiques produits dans le monde sont recyclés, les autres sont enfouis, incinérés ou non gérés (OCDE, 2022). Ils représentent une matière ambivalente, à la fois incontournable et source de pollutions des écosystèmes et des corps. En France, face à une gestion tardive et fragmentée des plastiques, la loi AGEC de 2020 marque un tournant vers une économie dite « circulaire ». Cependant, peuvent-ils réellement faire l'objet d'une gestion circulaire ? Que nous apprennent les circulations de flux plastiques à l'échelle française ? Comment les acteurs réagissent-ils et évoluent-ils face à ce nouveau contexte de circularité ?

Pour répondre à ces questionnements, nous proposons une réflexion interdisciplinaire sur les (re)structurations des flux

plastiques français. Le métabolisme territorial est mobilisé comme cadre théorique et méthodologique afin d'apprécier finement l'empreinte matérielle du territoire français et, plus largement, son régime socio-écologique. Au travers d'une approche à la fois quantitative et qualitative, l'étude s'appuie particulièrement sur deux écoles de pensée, la *Political Industrial Ecology* (PIE) et l'Écologie Territoriale (ET). Cela permet de comptabiliser et de suivre les circulations et les transformations de ces flux. L'analyse de la gouvernance des flux est également centrale pour appréhender les jeux d'acteurs. La matière plastique est ainsi appréciée comme un objet d'étude géographique, à la fois matériel (compositions chimiques, flux, pollution) et social (acteurs, pouvoirs, territoires).

Cette étude métabolique démontre que les circulations des flux plastiques sont complexes et dépendantes d'un système d'acteurs multiples. Ces circulations révèlent plus qu'un cheminement d'un point A à un point B : elles éclairent l'ambition performative de la circularité des plastiques. L'injonction et la promesse de « circulariser » les flux plastiques a donné naissance à des pratiques, des discours et des visions inédites, qui influencent les transformations possibles des filières et renforcent les résistances de ce système sociotechnique.

Titre : French plastics metabolism: between material and stakeholder resistance and the promise of circularity

Keywords : Plastics, Metabolism, France, Waste, Circularity, Interdisciplinarity

Abstract : Plastics are at the heart of contemporary societies due to their omnipresence in everyday production and consumption activities. Used in many industrial sectors since the beginning of the 20th century, this synthetic material has become indispensable for its flexibility, hygiene, resistance and durability. To date, more than 5,300 plastic formulations are available on the market (Fini, 2021), making the management of this future waste particularly complex. Each type of plastic requires specific treatment methods, some of which are still in the development and research phase. In 2021, only 9% of plastics produced worldwide are recycled, with the rest being landfilled, incinerated or left unmanaged (OCDE, 2022). They represent an ambivalent material, both indispensable and a source of pollution for ecosystems and bodies.

In France, faced with delayed and fragmented plastic management, the 2020 AGEC law marks a turning point towards a so-called 'circular' economy. However, can plastics really be managed in a circular way? What can we learn from plastic flows in France? How are stakeholders reacting and evolving in this new context of circularity?

To answer these questions, we propose an interdisciplinary reflection on the (re)structuring of French plastic flows.

Territorial metabolism is used as a theoretical and methodological framework to finely assess the material footprint of French territory and, more broadly, its socio-ecological regime. Using a quantitative and qualitative approach, the study draws particularly on two schools of thought: Political Industrial Ecology (PIE) and Territorial Ecology (TE). This makes it possible to account for and track the circulation and transformation of these flows. The analysis of flow governance is also central to understanding the interplay between actors. Plastic is thus assessed as a subject of geographical study, both material (chemical composition, flows, pollution) and social (actors, powers, territories).

This metabolic study demonstrates that plastic flows are complex and dependent on a system involving multiple actors. These flows reveal more than just a journey from point A to point B: they shed light on the performative ambition of plastic circularity. The injunction and promise to 'circularise' plastic flows has given rise to new practices, discourses and visions that influence the possible transformations of the sectors and reinforce the resistance of this socio-technical system.