

Louvain School of Management

Les grands défis et opportunités des producteurs de polymères face aux nouvelles réglementations et à l'instabilité du marché du plastique recyclé

Une économie circulaire comme solution

Auteur : Dupont Louis
Promoteur : De Rongé Yves
Année académique 2022-2023
Travail de fin d'études (TFE) en vue d'obtenir le titre de Ingénieur de gestion à finalité spécialisée Innovation Management
Horaire de jour

Remerciements

Tout d'abord, je tiens à remercier mon promoteur de mémoire, Monsieur Yves De Rongé, pour ses conseils avisés qui ont permis de guider mon analyse.

J'aimerais également remercier les experts que j'ai eu la chance d'interroger pour le temps qu'ils m'ont consacré et les informations précieuses qu'ils m'ont fournies.

Enfin, je tiens à remercier mes parents pour leurs avis critiques sur le sujet de recherche et la relecture de ce mémoire. Je les remercie également ainsi que le reste de mes proches pour le soutien qu'ils m'ont apporté pendant la réalisation de ce mémoire mais aussi tout au long de mes études.

Table des matières

Introduction générale.....	1
-----------------------------------	----------

Partie 1

1. Revue de la littérature.....	3
--	----------

1.1 La problématique du plastique	3
1.1.1 La production de plastique	4
1.1.2 Les principaux problèmes actuels liés aux plastiques	7
1.1.3 Importance et utilité du plastique dans la vie quotidienne	12
1.1.4 Un passage inévitable à une économie circulaire.....	15
1.2 L'économie circulaire	15
1.2.1 Présentation générale de l'économie circulaire.....	15
1.2.2 Principes clés de l'économie circulaire.....	16
1.3 L'économie circulaire du plastique.....	17
1.3.1 Les changements à opérer dans le secteur du plastique et les défis associés.....	17
1.3.2 Les solutions concrètes à mettre en place.....	18
1.3.3 Limites principales de l'économie circulaire du plastique et leurs défis inhérents	32
1.4 Le marché du plastique en détail	36
1.4.1 La chaîne de valeur.....	36
1.4.2 Un marché dual complexe	38

2. Les nouvelles législations Européennes	43
--	-----------

2.1 Le Pacte vert pour l'Europe : clé de voûte d'une série de réglementations	43
2.2 Les lois pour répondre à la problématique des emballages plastiques	44
2.2.1 Premières législations sur les emballages.....	44
2.2.2 Proposition de règlement du parlement européen et du conseil relatif aux emballages et aux déchets d'emballages (PPWR)	45
2.2.3 La réglementation 2022/1616 relative aux matériaux et objets en matière plastique recyclée destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.....	47
2.2.4 Réglementation single use plastic (SUPD).....	49

3. Conclusion de la première partie et identification des questions de recherche	50
---	-----------

Partie 2

4. Partie Empirique	52
----------------------------------	-----------

4.1 Méthodologie.....	52
4.2 Présentation des personnes interviewées.....	53
4.3 Présentation synthétique des résultats des entretiens	54
4.4 Analyse des résultats	55
4.4.1 Les défis des producteurs de polymères	55
4.4.2 Les opportunités	62

4.4.3 Les solutions.....	65
4.4.5 Les fausses solutions	70
4.5 Discussion et conclusion de l'analyse	71
5. Conclusion générale, limites et perspectives.	73
6. Bibliographie.....	75
7. Annexes.....	85

Introduction générale

Aujourd'hui, la production et l'utilisation du plastique ne cessent d'augmenter. Le plastique est omniprésent dans notre vie quotidienne, que ce soit dans les emballages alimentaires, les produits électroniques, les vêtements synthétiques ou même les matériaux de construction. Cette ubiquité du plastique est due à ses propriétés uniques, telles que sa durabilité, sa légèreté et sa polyvalence, qui en font un matériau extrêmement prisé dans de nombreux secteurs.

Cependant, cette dépendance généralisée aux plastiques crée un ensemble complexe de problèmes environnementaux, économiques et sociaux. La pollution plastique, qui se manifeste par la présence de déchets plastiques dans les océans, les rivières, la terre et même les organismes vivants, crée une préoccupation mondiale accrue. Cette pollution constitue une menace pour les écosystèmes terrestres et même pour la santé humaine. De plus, la production de plastiques nécessite des ressources fossiles non renouvelables telles que le pétrole et le gaz, ce qui entraîne une dépendance énergétique et une volatilité des prix.

Face à cette crise mondiale du plastique, il est impératif de mettre en place des solutions durables et d'adopter une approche holistique pour réduire la surproduction de plastique vierge, favoriser un recyclage efficace et encourager l'innovation dans la conception de matériaux alternatifs. Mais la gestion des déchets plastiques n'est pas encore à la hauteur et la demande de plastique recyclé est encore en marge de celle du vierge. Ces différents facteurs rendent le marché des polymères recyclés très instable, limitant alors le développement de solutions durables et ralentissant le passage à une économie des polymères circulaire.

Dans le but de résoudre ces problèmes, l'Union européenne entreprend la mise en œuvre de nouvelles réglementations visant à créer un cadre favorable à l'épanouissement du marché du recyclage. Ces législations requièrent une adaptation substantielle des activités de production de polymères.

Dans la première partie de ce mémoire, nous commencerons par une revue approfondie de la littérature qui fera office de premier chapitre. Cette étape nous permettra de saisir pleinement les enjeux actuels du secteur en question. Nous explorerons la problématique du plastique avant de mettre l'accent sur l'importance d'une économie circulaire du plastique bien conçue pour préserver l'environnement. De plus, nous examinerons de près les raisons pour lesquelles l'instabilité du marché représente un véritable problème à l'heure actuelle.

Ensuite, dans le chapitre 2, nous aborderons en détail les nouvelles réglementations mises en place par l'Union européenne. Dans le chapitre 3, nous identifierons nos questions de recherches qui suscitent un intérêt particulier suite à la revue de la littérature.

La seconde partie de ce mémoire sera dédiée à l'aspect empirique de notre étude. Dans le chapitre 4, nous nous attacherons à identifier les défis et opportunités auxquels les producteurs sont confrontés aujourd'hui. Notre objectif final sera de déterminer les solutions qui s'offrent à eux pour prospérer dans ce contexte. Enfin, nous terminerons par une conclusion de nos recherches, tout en ouvrant la porte à de nouvelles perspectives d'études.

Par conséquent, cette étude se veut une contribution essentielle à la compréhension de la crise mondiale du plastique et à la recherche de solutions durables pouvant être mises en place par les producteurs de polymères pour faire face à l'un des plus grands défis environnementaux du XXI^e siècle.

Partie 1

1. Revue de la littérature

Ce chapitre se concentrera sur l'analyse critique de la littérature actuelle afin de fournir un contexte approfondi sur l'industrie de la production de plastique. Cette revue de littérature visera à examiner les raisons pour lesquelles le plastique recyclé présente actuellement de nombreux défis, à comprendre les enjeux liés à une économie circulaire du plastique, ainsi qu'à explorer les défis auxquels les producteurs de polymères sont confrontés lors de la transition vers une économie circulaire. De plus, cette revue de la littérature permettra de mieux comprendre la complexité du marché du plastique recyclé aujourd'hui.

1.1 La problématique du plastique

De nos jours, le problème du plastique est devenu un véritable fléau en raison de son utilisation exponentielle dans toutes les sphères de notre quotidien. De l'eau à la terre en passant par l'air et même l'espace, le plastique est utilisé presque partout. L'invention de ce matériau polyvalent s'est avérée être à la fois une bénédiction et une malédiction. Léger, durable et apparemment bon marché, le plastique est entré dans nos vies, notre société et notre économie à un rythme qui cause des dommages importants à l'environnement, à la santé humaine et à l'économie.

Tout d'abord, la production en masse de plastique engendre l'épuisement alarmant de nos ressources naturelles et l'accroissement considérable des émissions de gaz à effet de serre.

De surcroît, de nombreux plastiques renferment des substances chimiques nocives susceptibles de provoquer des troubles sanitaires lorsque nous entrons en contact avec eux par le biais de l'alimentation ou de l'inhalation.

Enfin, la gestion des déchets plastiques représente un véritable défi puisque d'énormes quantités de plastique sont jetées chaque année, polluant nos océans, nos sols et nos écosystèmes. Il est donc urgent de prendre des mesures drastiques pour réduire notre dépendance envers le plastique, encourager l'émergence de solutions alternatives durables et mettre en place des systèmes de gestion des déchets efficaces.

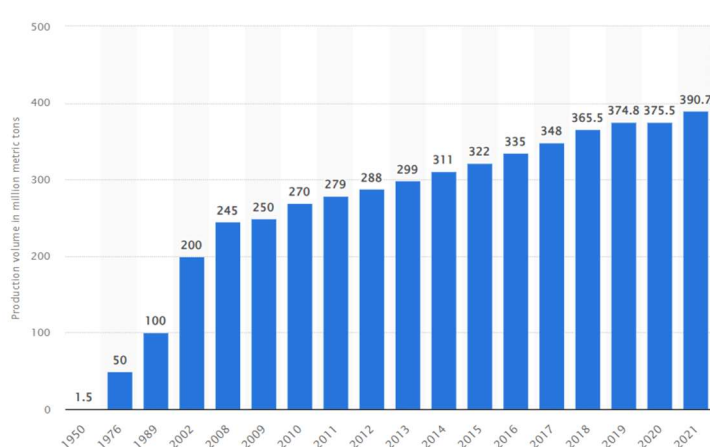
1.1.1 La production de plastique

A. Une production toujours plus importante

La production mondiale de matières plastiques a fortement augmenté au cours des 60 dernières années. En 1950, date à laquelle le plastique a commencé à se démocratiser et à faire partie du quotidien des consommateurs, la production ne dépassait pas les 1,5 millions de tonnes métriques. Depuis lors, la production mondiale de matières plastiques a atteint une quantité estimée à 390,7 millions de tonnes métriques en 2021 soit une augmentation annuelle de 4 % (UNCTADstat, 2023). En tout, cela représente 9 milliards de tonnes de plastiques cumulés en presque 70 ans (*Tout savoir sur le recyclage du plastique*, 2023).

Cette croissance s'explique par une demande elle aussi en constante expansion sous l'effet de l'industrialisation et de la mondialisation. Les plastiques sont devenus une option de choix pour de nombreuses entreprises en raison de leur polyvalence, de leur durabilité et de leur coût relativement bas par rapport à d'autres matériaux.

Fig 1 : Production mondiale de plastique 1950-2021 en millions de tonnes métriques



Source : Statista Research Department, 2023

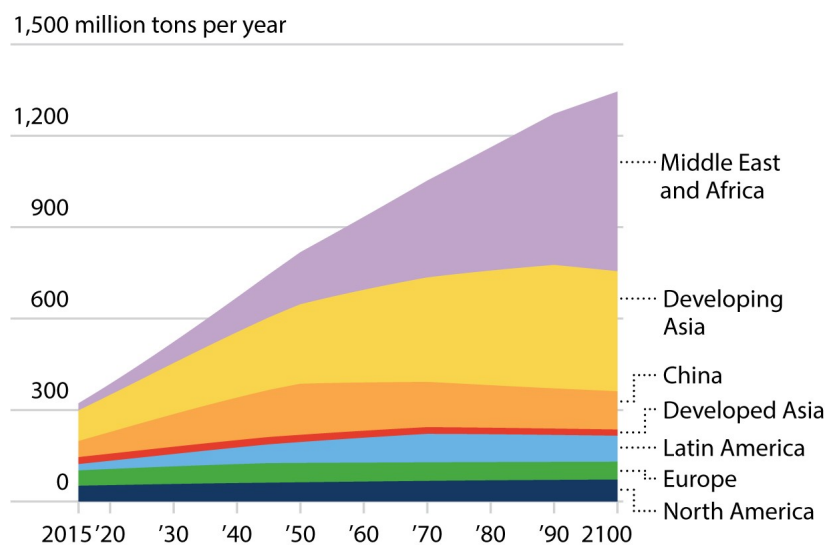
La production de plastique va continuer à augmenter dans les années à venir. Si les tendances actuelles se poursuivent, les estimations de l'industrie prévoient que la production de plastique pourrait doubler d'ici 2030-2035 et tripler d'ici 2050 (Wei, 2023). D'ici le milieu de ce siècle, nous produirons 1 milliard de tonnes par an, ce qui est « du même ordre de grandeur que le ciment ou l'acier ». D'ici là, les plastiques représenteront environ 60 % de la production pétrochimique totale (Correia, 2022).

Cette croissance attendue de la demande peut s'expliquer par plusieurs facteurs différents.

Tout d'abord, la population va continuer à augmenter. Étant donné que le plastique est utilisé dans de nombreux secteurs et que tout le monde l'utilise, la hausse de la population entraînera une demande accrue de ce matériau.

Ensuite, la demande de plastique va augmenter dans les pays émergents. En effet, le potentiel de la pétrochimie y est encore énorme. Actuellement, la consommation de plastique dans ces pays est inférieure à celles des pays développés. Par exemple, la consommation de plastique en Afrique est seulement de 4 kg par an et par habitant, tandis qu'elle dépasse les 60, voire 80 kg dans les pays occidentaux (Collen, 2018). Cependant, les pays émergents connaissent une croissance économique rapide qui se traduira par une industrialisation, une urbanisation et une augmentation du pouvoir d'achat des consommateurs. Ces différents phénomènes économiques touchant ces pays impliqueront une demande inévitable de produits dont leur composition ou leur emballage contiennent du plastique.

Fig 2 : World plastics demand may increase significantly



Source : Material Economics, The circular economy (2018)

Les projections basées sur une croissance normale prévoient donc une augmentation marquée de l'utilisation du plastique jusqu'en 2100.

Malheureusement, plus il y a de production, plus il y a de gaspillage et plus il y a de pollution.

B. L'inflation des déchets plastiques

L'augmentation de la production s'accompagne du problème majeur qu'elle déclenche : l'accumulation de déchets plastiques. En effet, entre 2000 et 2019, il y a eu deux fois plus de plastiques produits dans le monde et deux fois plus de déchets rejetés sur la même période (Collen, 2018).

Aujourd'hui, environ 350 millions de tonnes de déchets plastiques sont produites chaque année. C'est comme si le monde produisait l'équivalent en poids de 35 000 tours Eiffel (Sicaï, 2022).

Une des explications de l'abondance des déchets plastiques est que plus des deux tiers des plastiques produits sont amenés à devenir des produits à courte durée de vie et une quantité croissante sont à l'état de déchets après une seule utilisation (Landrigan et al., 2023).

En effet, de nombreux produits en plastique sont conçus pour un usage unique, comme les sacs en plastique, les bouteilles d'eau et les emballages alimentaires. 40 % des plastiques sont utilisés pour faire des emballages (Plastics Europe, 2023). L'utilisation généralisée de ces produits jetables contribue à l'accumulation rapide des déchets plastiques.

De plus, la société de consommation moderne encourage souvent une mentalité de surconsommation, ce qui entraîne une utilisation excessive de produits en plastique.

Les pays à revenu élevé sont les principaux coupables. Alors qu'ils ne rassemblent que 16 % de la population mondiale, ils génèrent plus d'un tiers (34 %) des déchets de la planète tandis que près d'un quart (23 %) de la production mondiale de déchets provient de la région de l'Asie de l'Est et du Pacifique. En outre, on prévoit que la production de déchets en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud triple chacune d'ici 2050 (Kaza et al., 2018).

Dans le futur, cette tendance ne s'améliorera pas. On attend une hausse des déchets plastiques à l'échelle mondiale, qui passeront de 353 Mt en 2019 à 1014 Mt en 2060 (Bremer, 2022).

Sans une action rapide contre l'accumulation de tous ces déchets, nous pourrions nous retrouver dans une situation intenable, bien qu'elle soit déjà très alarmante.

1.1.2 Les principaux problèmes actuels liés aux plastiques

Le plastique cause beaucoup de problèmes pour l'environnement mais aussi pour la santé humaine.

A. Des impacts tout au long de son cycle de vie

Le plastique est une matière dont les répercussions néfastes sur notre planète sont indéniables, il se révèle être un véritable fléau à chaque étape de son existence. Dès sa production, il engendre un impact dévastateur sur l'environnement. Malheureusement, une fois utilisé, il est souvent abandonné, se retrouvant ainsi dans la nature et déclenchant une cascade d'effets indésirables. Il est important d'analyser chaque étape de son cycle de vie pour comprendre cette problématique

1. Un problème qui débute dès l'extraction des matières premières

Pour mieux comprendre pourquoi le plastique est polluant dès les premières étapes de son cycle vie, il est utile de rappeler comment ce matériau est produit et de quoi il est constitué.

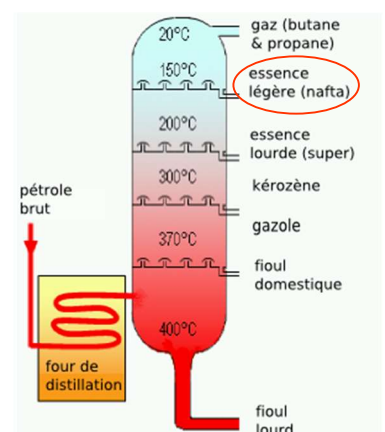
Avant tout, il faut extraire les matières premières nécessaires à sa fabrication.

La majorité des polymères sont aujourd'hui conçus à l'aide de produits pétroliers qui nécessite une étape d'**extraction** qui s'accomplit en deux temps.

La première étant le forage, elle sert à vérifier la présence d'un gisement de pétrole. Ensuite, des puits sont creusés et le pétrole est extrait par injection d'eau ou de gaz.

La deuxième grande étape est le **raffinage** du pétrole. Il sera alors chauffé à plusieurs centaines de degrés, et envoyé dans une tour de distillation fractionnée où différents liquides seront alors répartis distinctement à des étages différents de la tour de distillation en fonction de leur masse et de leurs points d'ébullition. Plusieurs essences sont ainsi obtenues, dont le **naphta**, utilisé dans la fabrication du plastique (Paprec Group, 2023).

Fig 3 : Distillation du pétrole brut



Source : Energy education, 2017

La dernière étape est le « **craquage** ». Durant celle-ci, les grosses molécules d'hydrocarbures du naphta sont fragmentées pour ensuite être facilement exploitables lors de la production du plastique.

D'autres matières premières sont également utilisées (Paprec Group, 2023) :

- Le gaz naturel est récupéré pour sa teneur en éthane qui après purification fournit l'éthylène, essentiel à la production de polymères solides, appelés polyéthylènes. Pour produire 1 tonne de polymère, nous avons besoin d'1,25 tonne d'éthane.
- Le charbon est utilisé pour fabriquer des polymères tels que le plexiglas, le nylon, ou encore le polyester.
- La cellulose également utilisée pour la production du cellophane, est extraite par différents traitements mécaniques et chimiques.

Force est de constater que toutes les matières premières dont les industriels ont besoin en grande quantité pour produire des plastiques nécessitent des **procédés d'extraction de raffinage et de transport extrêmement énergivores et émetteurs de gaz à effet de serre**, contribuant ainsi directement au changement climatique.

Pour ne rien arranger, l'extraction des matières premières contribue à la raréfaction des **ressources naturelles qui sont déjà fortement limitées**. En effet, il ne reste que 137 ans de réserve de charbon, 46 ans de gaz naturel et 51 ans de pétrole (Duval, 2009).

Enfin, il ne faut pas négliger les impacts imprévus, tels que les pertes de produits lors des transport, les fuites de pipelines, la surexploitation des terres et l'impact sur les forêts et les autres puits de carbone naturels (PNUE, 2021).

2. La fabrication du plastique

Les **monomères** obtenus après craquage sont soumis à des réactions d'addition et de condensation afin de former des polymères, cette étape s'appelle « la **polymérisation** ».

La polymérisation permet de transformer les bases liquides ou gazeuses des matières premières en plastomères (Paprec Group, 2023).

Pour information, il existe **2 types de polymérisation** (Senninger, 1998)

1) La polymérisation par étape, aussi appelée « **Polycondensation** ».

2) La polymérisation en chaîne, aussi appelée « **Polyaddition** ». Cette dernière technique est la plus utilisée, elle permet d'assurer plus de 90% de la production mondiale de matières plastiques.

Les polymères sont donc des **macromolécules** constituées de longues chaînes de monomères essentiellement constituée d'atomes de carbone sur lesquelles il est possible de fixer d'autres éléments (par exemple : de l'hydrogène, du chlore, de l'azote, du fluor, ...).

3. L'incorporation d'adjuvants

Pour préparer et adapter les polymères à leur utilisation prochaine, les industriels ajoutent divers additifs à leur composition. Outre les procédés d'extraction et de production qui ont un impact sur les émissions de gaz à effet de serre, les industriels utilisent également de **nombreux produits chimiques** pour la polymérisation mais également directement dans la composition du plastique.

La quantité et le type d'incorporation d'adjuvants varie en fonction de la fonction finale recherchée, on peut notamment ajouter :

- Des matériaux comme le **verre**, l'**aluminium** ou encore du **bois** pour améliorer la **résistance des polymères**.
- Des **plastifiants** tels que les naphthalènes ou des mélamines (= produits chimiques) servant à **diminuer la rigidité des polymères**.
- Des **stabilisants chimiques** qui permettent d'**éviter la dégradation** des polymères lors de leur phase d'utilisation
- Des **antistatiques** servant à **empêcher le dépôt de poussière** sur les plastiques
- Des **lubrifiants** qui permettent d'**empêcher l'abrasion** des matières organiques aux machines lors de la phase de conception et qui **préviennent également l'usure des plastiques**.
- Des **colorants** pour adapter l'**apparence** des résines
- Des **ignifugeants** pour une meilleure **résistance au feu**

Certains de ces produits chimiques peuvent **être toxiques** pour les humains et l'environnement. De plus, ils peuvent s'échapper dans l'air ou les eaux usées lors du processus de production.

Actuellement, la production de plastique représente environ **3,7 %** des **émissions mondiales** de gaz à effet de serre, ce qui dépasse la contribution du Brésil. Si les tendances actuelles se maintiennent, cette proportion devrait **augmenter à 4,5 %** d'ici 2060 (Banque Européenne d'investissement, 2019).

4. Une gestion des déchets qui pose problème

A cause des quantités astronomiques des plastiques jetés, les mécanismes de traitement des déchets ne peuvent plus suivre et les mauvaises habitudes des consommateurs provoquent une pollution des écosystèmes sans précédent.

Il existe aujourd'hui beaucoup de voies de valorisations pour ces déchets mais elles ne peuvent actuellement pas traiter toute la vague de déchets qui submerge la terre.

Ce phénomène est exacerbé par la consommation croissante de plastique par les pays émergents comme nous l'avons vu précédemment. Les infrastructures locales de ces pays ne peuvent pas suivre le rythme de cette surconsommation. Dans ces pays, seulement 18 à 28 % du plastique recyclable est effectivement récupéré et réutilisé ce qui provoque **l'accumulation de grandes quantités de déchets non traités** (Kwakwa, 2021).

Les déchets de plastiques qui sont abandonnés polluent non seulement l'environnement en s'accumulant sur les plages et le long des routes, mais ils représentent également une **perte économique importante** étant donné que ces produits ne peuvent pas être revalorisés.

B. Les impacts des déchets sur l'environnement

Les effets néfastes du plastique vont bien au-delà de sa production initiale, car ce matériau persistant a des conséquences étendues. Lorsqu'il est éliminé de manière incorrecte, le plastique se faufile sournoisement dans notre écosystème. Il peut être transporté par les cours d'eau et finir par atteindre les océans, créant ainsi de graves problèmes pour la faune marine. Aujourd'hui, on pense qu'il y a plus de 5000 milliards de morceaux de plastique qui flottent déjà dans nos océans (Galgani & Loubesac, 2016).

En outre, le plastique peut se décomposer en **microplastiques**, de minuscules fragments généralement **inférieurs à 5 millimètres** de taille. Ils sont souvent invisibles à l'œil nu et se dispersent rapidement dans l'environnement. Ces particules insaisissables contaminent les sols, les cours d'eau et même l'air que nous respirons. Elles peuvent également être ingérées par les animaux, entraînant des conséquences désastreuses sur leur santé et perturbant les équilibres écologiques (Galgani & Loubesac, 2016).

Les microplastiques peuvent être classés en **deux catégories** selon leur origine :

1) Les microplastiques primaires : ces petites particules sont produites et utilisées volontairement et rejetées comme telles dans l'environnement. Elles sont souvent directement issues de produits que nous utilisons tous les jours (Parlement Européen, 2018).

Par exemple :

- 35 % des microplastiques primaires sont issus du lavage des vêtements synthétiques
- 28 % proviennent du frottement des pneus sur les routes
- 2 % sont issues de produits de soin

2) Les microplastiques secondaires : ils proviennent de la dégradation de plus gros déchets. **Par exemple** : les sacs en plastique, les bouteilles, les filets de pêche (Parlement Européen, 2018).

La **dégradation** des plastiques est un processus qui les **décompose** en raison de différentes contraintes. La **photodégradation** sous l'effet des rayonnements UV, est l'une des causes les plus courantes qui fragilise les plastiques et les fragmente. Après une dégradation complète, les plastiques se décomposent en CO₂, en eau, en méthane, en hydrogène, etc. L'**oxygène** de l'air leur confère également des contraintes chimiques, par oxydation (Faure, 2015). Mais d'autres phénomènes entrent aussi en lice tels que l'action mécanique des vagues ou encore la **biodégradation**. Durant cette dernière, les bactéries sont capables de dégrader les plastiques, bien que ce processus soit généralement lent (Faure, 2015).

Pourquoi la dégradation des plastiques est-elle un problème majeur?

Leur dégradation s'accompagne souvent d'une **libération** importante de **toxines** nocives pour l'environnement en raison des nombreux additifs qui les composent.

Les différents plastiques **perturbent l'équilibre des écosystèmes**, elles impactent la faune et les écosystèmes marins. En effet, de nombreux animaux ingèrent parfois d'importantes quantités de plastiques et finissent souvent par en mourir. Ce problème est d'autant plus important à cause de l'existence des microplastiques, ils interagissent même avec les plus infimes formes de vie, comme le plancton par exemple. Le problème s'accroît alors au fur et à mesure qu'on remonte la chaîne alimentaire. Comme les prédateurs consomment des êtres

vivants ayant ingéré ces substances nocives, on retrouve des quantités importantes de plastiques à l'intérieur de leurs organismes (PNUE, 2021).

C. Les impacts sur la santé humaine

Logiquement, les microparticules se frayent un chemin jusqu'à nos assiettes par le biais des animaux que nous consommons. Plus grave encore, de nombreuses études ont révélé la présence de microplastiques dans l'eau potable que nous buvons mais aussi dans l'air que nous respirons.

Au final, on estime que l'être humain ingère chaque semaine environ 5 grammes de plastique, l'équivalent d'une carte de crédit (WWF, 2019).

Or, si le plastique est toxique pour la faune et la flore, il l'est tout autant pour l'homme.

Des études montrent que des milliers de produits chimiques contenus dans les plastiques (additifs, agents de transformation, colorants...) comprennent, entre autres, des substances cancérigènes, des perturbateurs endocriniens, des neurotoxiques et des polluants organiques persistants (Flaws et al., 2020).

Par exemple, les bouteilles faites de PET (Polyéthylène téréphtalate) peuvent générer un élément chimique cousin de l'arsenic reconnu comme potentiellement cancérigène (PNUE, 2021).

Il suffit d'analyser les principales maladies recensées auprès des travailleurs du plastique pour se rendre compte de la nocivité de ces matières : on y dénonce régulièrement des cas de leucémie, de lymphome, d'angio-sclérose hépatique, de cancer du cerveau, de cancer du sein, de mésothéliome, de lésions neurotoxiques et de diminution de la fertilité (Flaws et al., 2020).

1.1.3 Importance et utilité du plastique dans la vie quotidienne

Face aux nombreux impacts qu'a le plastique sur les écosystèmes et la santé humaine, nous sommes en droit de nous demander pourquoi nous utilisons encore du plastique.

La raison à cela est que ce matériau nous rend de nombreux services dans la vie de tous les jours. En effet, cette matière très polyvalente est largement utilisée aujourd'hui pour les nombreuses propriétés qu'elle offre : les plastiques sont **légers**, ils peuvent être façonnés dans

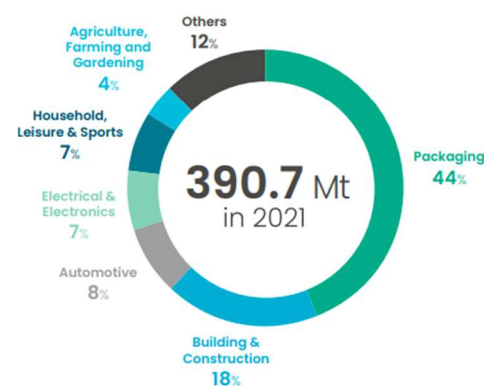
n'importe quelle forme, ils ont une excellente durabilité et sont de bons isolants thermiques et électriques...Et surtout ils sont généralement **économiques**.

Ces caractéristiques extraordinaires expliquent l'activité économique florissante du plastique. En effet, l'industrie européenne des plastiques a réalisé un chiffre d'affaires d'environ 405 milliards d'euros en 2021. C'est une industrie qui compte plus de 52 000 entreprises en Europe, dont la plupart sont des PME. En 2021, elle a fourni des emplois directs à plus de 1,5 million de personnes, ce qui représente une légère augmentation par rapport à 2020 (Plastics Europe, 2023).

Qui dit matériau polyvalent, dit **applications nombreuses** dans **différents secteurs**. Voici les secteurs les plus demandeurs de cette matière :

- **Secteur de l'emballage** (44%) : bouteilles PET, sachets, calages, flacons, ...
- **Secteur de la construction** (18%) : tuyaux, gaines, huisseries, isolations, portes, coques, éléments de structure, ...
- **Secteur de l'automobile** (8%) : pièces d'habacle, pièces « sous capot », pare-chocs, carrosseries, ...
- **L'électronique** (7%) : les boîtiers, les connecteurs, les prises, ...
- **Ménages, loisirs et sports** (7%) : chaussures, vêtements, mobiliers, skis, balles, ...
- **Agriculture** (7%) : films plastique, tuyaux d'irrigation,...
- **Autres** (12%) : Applications dans le secteur médical, produits de beauté, ...

Fig 4 : Répartition de l'utilisation mondiale de plastiques par application



Source : Plastics Europe, 2023

En analysant ces secteurs, on remarque que beaucoup d'entre eux pourraient difficilement se passer de matières plastiques.

Par exemple, **l'utilisation du plastique dans le secteur médical** est devenue incontournable. En effet, les outils peuvent être fabriqués pour être stériles, ce qui est essentiel dans les environnements médicaux où l'hygiène est primordiale. Mais ce n'est pas tout, la flexibilité de conception, la transparence et la résistance chimique de certains plastiques sont des caractéristiques hautement appréciées dans le domaine de la santé.

Comme nous l'avons évoqué précédemment, le plastique est généralement associé à des problèmes environnementaux. Cependant, dans certains cas spécifiques, le plastique peut être utilisé de manière **bénéfique** pour **lutter contre le réchauffement climatique**.

En voici quelques exemples :

- **Les énergies renouvelables** : le plastique compose les installations qui produisent de l'énergie verte, installations telles que :
 - les **panneaux solaires** qui contiennent des films plastiques pour encapsuler les cellules photovoltaïques.
 - les **éoliennes** qui peuvent être renforcées avec des matériaux composites contenant du plastique. Cela les rend plus légères et plus résistantes ce qui augmente leur efficacité énergétique.
- **Le conditionnement alimentaire** : l'utilisation d'emballages plastiques contribue à **prolonger la durée de conservation des aliments** et contribue donc à **diminuer le gaspillage** alimentaire. De plus, l'utilisation de plastiques légers peut souvent **diminuer le poids global** des produits et donc réduire les émissions de gaz à effet de serre lors du transport (Boukezzata et al., 2018).
- **Transport** : les plastiques sont utilisés dans la fabrication de voitures, d'avions et de bateaux. Le poids léger des pièces en plastique permet de **réduire la consommation de carburant** et donc les émissions de CO2 associées au transport.
- **Agriculture** : l'usage de films permet d'**améliorer les rendements** en protégeant les cultures des intempéries mais il permet également de lutter contre les mauvaises herbes **limitant ainsi l'utilisation d'herbicides**.
- **Isolation des câbles** : Envelopper les câbles d'isolant en plastique peut améliorer l'efficacité du transport de l'électricité, **réduisant** ainsi les **pertes d'énergie** sur de longues distances.

En sommant toutes ces applications, nous pouvons comprendre aisément que nous ne pourrions pas nous passer de ce matériau dans un futur proche.

1.1.4 Un passage inévitable à une économie circulaire.

L'utilisation généralisée du plastique et la gestion défaillante des déchets présentent de nombreux défis qui nécessitent une attention particulière. Alors que ce matériau est devenu indispensable dans notre société moderne, ses effets néfastes sur l'environnement et la santé sont de plus en plus évidents.

Aujourd'hui, seulement **9%** des déchets plastiques dans le monde sont **recyclés**. Les taux de valorisation sont encore bien trop faibles. Les effets néfastes des plastiques sont encore amplifiés par les faibles taux de récupération et de recyclage, ainsi que par la longue durée de vie des plastiques dans l'environnement (Plastics Europe, 2023).

Face à ces problèmes, il est évident que le secteur doit subir une transformation profonde. Les acteurs industriels doivent revoir complètement leur mode de fonctionnement, car les problèmes se situent à tous les niveaux. Des actions doivent être entreprises sur tout le cycle de vie des produits en plastique étant donné l'ampleur des problèmes. Pour répondre à cette exigence, une solution semble claire : il faut **passer à un modèle circulaire bien conçu** de bout en bout visant une **circularité maximale** (United Nations Environment Programme, 2023).

1.2 L'économie circulaire

1.2.1 Présentation générale de l'économie circulaire.

Pour mieux comprendre ce que représente ce concept, il est important de commencer par le définir. Il y a plusieurs définitions couramment employées, mais le Parlement Européen estime que l'économie circulaire est : « un modèle de production et de consommation qui consiste à partager, réutiliser, réparer, rénover et recycler les produits et les matériaux existants le plus longtemps possible afin qu'ils conservent leur valeur. » (Parlement européen, 2023).

L'économie circulaire encourage une approche plus durable et responsable de la production et de la consommation. Nous pouvons alors limiter notre impact sur l'environnement et préserver les ressources naturelles pour les générations futures. De cette façon, le cycle de vie des produits est allongé au maximum et permet de réduire l'utilisation de matières premières et la production de déchets (Aurez & Georgeault, 2019).

Une rupture avec le modèle linéaire

Le modèle circulaire est en rupture par rapport au modèle économique traditionnel dit « linéaire », qui repose sur le principe du "prendre-fabriquer-consommer-jeter" où les matières premières sont extraites, transformées en produits finis, consommées puis jetées sous forme de déchets (Parlement Européen, 2023).

L'économie circulaire se différencie donc de l'économie linéaire en cherchant à créer un système plus durable, où les ressources sont utilisées de manière plus efficace, les déchets minimisés et les externalités négatives gérées de manière plus responsable (Aurez & Georgeault, 2019).

1.2.2 Principes clés de l'économie circulaire

Avec la création de l'Ellen MacArthur Foundation en 2010, qui a centré ses recherches et ses publications sur l'économie circulaire, l'économie circulaire a gagné en visibilité. (Fabienne Collard, 2020). Selon les recherches menées dans cette organisation, trois principes régissent l'économie circulaire (Fondation EllenMcarthur, 2019) :

- 1) **Éliminer les déchets et la pollution**
- 2) **Faire circuler les produits et les matériaux**
- 3) **Régénérer la nature**

Pour cela, l'économie circulaire s'appuie sur **7 piliers majeurs** (répartis en 3 catégories)

- **L'approvisionnement durable**
- **L'écoconception**
- **L'écologie industrielle et territoriale**
- **L'économie de la fonctionnalité**
- **La consommation responsable**
- **L'allongement de la durée d'usage**
- **L'amélioration de la prévention, de la gestion, du recyclage des déchets**

Ces 7 piliers sont particulièrement intéressant à prendre en compte pour l'économie circulaire des polymères (ADEME, 2020).

Fig 5 : Les 7 piliers de l'économie circulaire



Source : ADEME (2019).

1.3 L'économie circulaire du plastique

Adopter pleinement l'économie circulaire est un moyen de transformer le secteur du plastique vers un système plus durable. Le secteur du plastique, plus que tout autre secteur, doit impérativement se tourner vers une économie circulaire en raison des problèmes environnementaux majeurs qu'il engendre.

La transition vers une économie circulaire permettrait de minimiser l'utilisation de nouvelles matières plastiques, de favoriser le recyclage et la réutilisation, ainsi que de repenser la conception des produits pour les rendre plus durables et facilement recyclables. Ainsi, pour régler le problème des plastiques, l'économie circulaire permet de s'attaquer aux causes de la pollution plastique en passant vers un système plus vertueux, plutôt que de se contenter d'en traiter les symptômes (United Nations Environment Programme, 2023).

En outre, cette transition revêt également un intérêt intellectuel, étant donné la nécessité pour des entreprises entières, qui reposent sur des pratiques non durables, de changer (Chen et al., 2020).

1.3.1 Les changements à opérer dans le secteur du plastique et les défis associés

Selon le récent rapport des Nations Unies « Turning off the tap », il y a **trois changements majeurs** à opérer dans le secteur du plastique pour atteindre une plus grande circularité, ces trois changements s'accompagnant de **défis à relever pour les acteurs du secteur**.

1) Favoriser une réutilisation plus importante

Il est nécessaire d'accélérer le développement du marché des produits réutilisables afin de transformer notre économie, qui est actuellement axée sur le jetable, en une société qui privilégie la réutilisation. Pour ce faire, il est important de créer un environnement favorable où le marché des produits réutilisables devient plus rentable que celui des plastiques à usage unique. Des études démontrent que les **systèmes de réutilisation** constituent la **meilleure opportunité** pour réduire la pollution plastique, avec une diminution estimée de 30 % d'ici 2040. Cette approche consiste à remplacer certains des produits les plus problématiques et inutiles (Systemiq, 2020).

2) Augmenter le recyclage

En augmentant la rapidité du développement du marché du recyclage des plastiques et en garantissant sa stabilité et sa rentabilité, il serait possible de réduire la pollution plastique de manière significative, en atteignant une réduction supplémentaire de 20 % d'ici à 2040 (Systemiq, 2020). Pour y parvenir, il est essentiel de disposer d'une **quantité adéquate de matières premières recyclables** et de s'assurer que les **matériaux recyclés puissent rivaliser avec les matériaux vierges sur un pied d'égalité** (United Nations Environment Programme, 2023).

3) Réorienter et diversifier l'offre

Pour façonner le marché des solutions de remplacement du plastique de manière éthique, il est essentiel d'éviter de simplement déplacer les impacts environnementaux plutôt que de les réduire lors du remplacement des produits en plastique. Les solutions de remplacement durables ont le potentiel de réduire la pollution de 17 % d'ici à 2040 (United Nations Environment Programme, 2023). Cependant, ces alternatives se heurtent à plusieurs défis qui limitent leur capacité à rivaliser avec les produits fabriqués à partir de polymères vierges issus de combustibles fossiles sur les marchés. Ces défis comprennent le **coût des produits**, la **demande des consommateurs** et **l'absence de réglementations appropriées**.

Mais que faut-il faire en pratique pour transformer notre économie du jetable en une économie où les déchets sont éliminés, les ressources circulent et la nature se régénère ?

1.3.2 Les solutions concrètes à mettre en place

A. La réduction à la source et l'écoconception

La performance d'ensemble en matière d'économie circulaire dépend majoritairement des producteurs, dont les choix de conception et de commercialisation impactent les niveaux de prélèvement de matières vierges, la quantité de déchets produits et leur recyclabilité (Aurez & Georgeault, 2019).

La réduction à la source

Cette approche concerne majoritairement les emballages plastiques. Le but de la réduction à la source des emballages est de diminuer la quantité et la taille des emballages employés pour protéger, transporter et commercialiser les produits. C'est un enjeu crucial qui vise à réduire la quantité de déchets, en évitant ainsi d'avoir à les traiter : chaque emballage évité représente un

emballage de moins à recycler. Cette approche essentielle s'inscrit dans une démarche plus large de préservation de notre environnement en limitant notre consommation (Wallonie environnement, 2019).

L'éco-conception

Dans une démarche d'économie circulaire, chaque produit doit être conçu en tenant compte de l'ensemble de son cycle de vie. Ce dernier doit être respectueux de l'environnement, de la construction jusqu'à la fin de vie (Moretti, 2023).

En effet, l'éco-conception vise à minimiser l'impact environnemental d'un produit tout au long de la vie de celui-ci. Utiliser le minimum requis de plastique possible pour emballer un produit fait donc partie d'une démarche d'éco-conception (Fontaine, 2012).

Mais l'éco-conception, surtout dans le domaine du plastique, ne se limite pas qu'à utiliser moins de matière. Elle consiste à intégrer la protection de l'environnement dès la conception des biens ou services pour réduire les impacts environnementaux des produits tout au long de leur cycle de vie. Cela comprend donc l'extraction des matières premières, la production, la distribution, l'utilisation et la fin de vie (Daoud, 2009).

Le produit doit donc être produit de manière responsable en utilisant le **moins de ressources naturelles** et le **moins d'énergie** possible car on estime qu'environ **80 %** de l'impact environnemental d'un produit est déterminé lors de sa phase de conception (Parlement européen, 2023).

Il est important de produire des produits ayant la **durée de vie la plus longue possible** pour minimiser l'utilisation de nouvelles ressources nécessaire à la production d'autres produits mais aussi pour éviter la production intempestive de déchets. A l'heure actuelle, chaque Européen génère près de 180 kg de déchets d'emballage par an (Commission Européenne, 2022).

Aujourd'hui, beaucoup de produits sont conçus avec des matériaux et des formes qui complexifient leur recyclage. Or, les matériaux plus complexes mis sur le marché nécessitent des systèmes et des technologies de recyclage capables de gérer une telle complexité. Sans ces infrastructures de gestion des déchets complexes, ce genre de produits peuvent précipiter la production de flux de résidus non négligeables (Grosso et al., 2017).

L'importance de la recyclabilité

La norme ISO 14021 définit le terme « recyclable » comme tel : « caractéristique d'un produit, d'un emballage ou d'un composant associé qui peut être prélevé sur le flux des déchets par des processus et des programmes disponibles, et qui peuvent être collectés, traités et remis en usage sous la forme de matières premières ou de produits » (Organisation internationale de normalisation, 2019).

Il est essentiel de considérer la recyclabilité des produits manufacturés, en particulier des plastiques. En effet, si nous ne pouvons pas garantir la recyclabilité des produits en fin de vie, il devient difficile d'atteindre les objectifs de recyclage fixés par la législation. En maximisant la recyclabilité des déchets, l'économie circulaire est grandement favorisée (Rodrigues, 2021).

B. Une gestion efficace des déchets

La gestion efficace des déchets joue un rôle crucial au sein de l'économie circulaire. En effet, il est impératif d'adopter des stratégies de gestion des déchets efficaces pour éviter que ces déchets ne finissent dans la nature et pour revaloriser au maximum ces déchets qui peuvent être vus comme des ressources précieuses dans le cas d'une économie circulaire.

Pour que le recyclage soit efficace, la collecte et la ségrégation appropriée sont des conditions préalables très importantes (Balwada et al., 2021).

Il est important de préciser qu'il y a plusieurs types de déchets. On peut les classer en 2 classes différentes.

- 1) **Les déchets post-industriels** : sont les déchets générés tout au long du processus de fabrication d'un produit, depuis sa production jusqu'à sa distribution, avant qu'il ne soit consommé par l'utilisateur final. Cela inclut les étapes de stockage, de conditionnement et de transport du produit (Desvaux, 2017).
- 2) **Les déchets post-consommateurs** : sont les déchets qui sont triés sélectivement par les consommateurs, tels que le verre, le papier, le carton, les bouteilles et les bidons. Cette catégorie comprend notamment les bouteilles en PET qui sont triées par les consommateurs eux-mêmes, puis dans un centre de tri spécialisé (Desvaux, 2017).

Une gestion des déchets efficace requiert des systèmes de collecte et de tri performants.

La collecte des déchets

La collecte des déchets joue un rôle essentiel dans la mise en œuvre de l'économie circulaire du plastique. En effet, une collecte adéquate des déchets plastiques est la première étape fondamentale pour garantir leur traitement approprié et leur intégration dans les cycles de production et de consommation durables.

En Wallonie, différents sacs poubelles sont proposés afin de faciliter le tri pour les prochaines étapes de traitements des déchets. Il y a le sac vert réservé aux déchets organiques, le sac bleu « PMC », le sac « moka » réservé à tout ce qui n'est pas repris dans le cadre des services de collectes sélectives mis à la disposition de la population, et le conteneur à carton (Intercommunale de gestion environnementale, 2023).

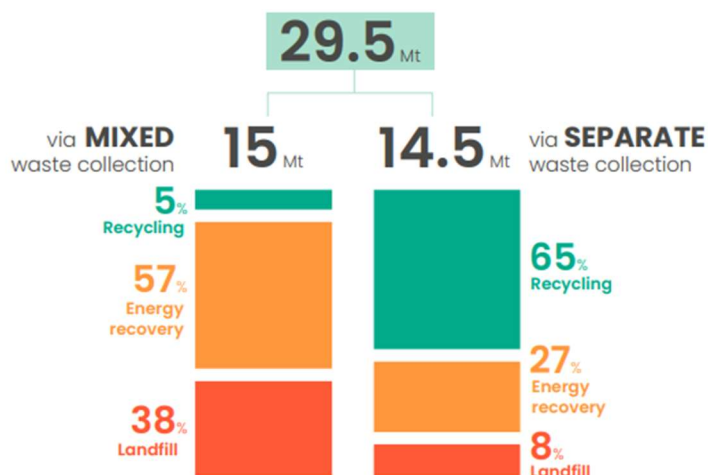
Le sac « PMC » est particulièrement valorisé dans le cadre du recyclage du plastique. En effet, cet acronyme représente les types de matériaux qu'il contient :

- Les bouteilles et flacons en **plastique** (P)
- Les emballages **métalliques** (M)
- Les **cartons** à boissons (C)

En Belgique, ce sont **principalement des ASBL** qui prennent en charge la collecte des déchets en plastique. L'ASBL **FostPlus** s'occupe de la collecte des **déchets ménagers** en récupérant les sacs PMC (Logistics in Wallonia, 2023), tandis que **Valipac** traite les **déchets d'emballages industriels** (Valipac, 2023).

Défi lié à la collecte des déchets : Il est essentiel d'encourager les ménages à trier leurs déchets avant la collecte de ceux-ci. On estime que les taux de recyclage des déchets plastiques sont 13 fois plus élevés lorsqu'ils sont collectés séparément par rapport aux systèmes des déchets mixtes (Plastics Europe, 2023).

Fig 6: Collecte mixte et séparée des déchets plastiques de post-consommation en 2020



Source : Plastics Europe, 2023

Le tri des déchets

L'étape de tri est essentielle dans l'économie circulaire du plastique. Premièrement, le tri des déchets plastiques permet de séparer les matériaux recyclables des déchets non recyclables. En isolant les plastiques recyclables, on évite leur enfouissement ou leur incinération, qui sont des voies de valorisation contribuant à la pollution et à la détérioration de l'environnement.

Ensuite, le tri permet de séparer les différents types de plastiques, tels que le PET, le PEHD et le PVC, qui ont des caractéristiques et des propriétés distinctes. Cela facilite grandement le processus de recyclage, car chaque type de plastique nécessite des traitements spécifiques pour être transformé en nouvelles matières premières. En effet, certains types de plastiques peuvent entraîner des problèmes de compatibilité chimique lorsqu'ils sont mélangés, ce qui peut conduire à des produits recyclés de qualité inférieure. Le fait de séparer les différents types de polymères dès l'étape de tri permet d'avoir un matériau recyclé final de meilleure qualité. Par exemple, trier les différents polymères selon leur couleur peut éviter le traitement chimique et l'ajout important de colorants pour l'obtention d'un produit recyclé conforme aux exigences.

Valorisation des déchets triés

Après le tri, les différents déchets sont envoyés vers des voies de valorisation différentes en fonction de leur recyclabilité :

Les déchets non recyclables (les plastiques multicouches, contaminés, de faible qualité,...) peuvent être acheminés vers des installations de valorisation énergétique. Dans ces installations, les déchets sont incinérés de manière contrôlée pour produire de la chaleur ou de l'électricité. Ce processus permet de récupérer une partie de l'énergie contenue dans les déchets, réduisant ainsi leur impact environnemental tout en produisant de l'énergie utile.

Les déchets recyclables (PET, HDPE, LDPE, PP, PS, PVC,...) sont envoyés vers des installations de recyclage où ils sont transformés en nouvelles matières premières pouvant être utilisées dans la fabrication de nouveaux produits.

Les déchets organiques (les plastiques biodégradables, les restes de nourriture, les déchets de jardin,...) peuvent être envoyés vers des installations de compostage. Dans ces installations, les déchets organiques sont décomposés de manière contrôlée pour produire du compost, un amendement organique utilisé dans l'agriculture et l'aménagement paysager.

Malheureusement, malgré les efforts déployés pour promouvoir la gestion responsable des déchets, il existe encore un **problème persistant lié à l'enfouissement excessif des déchets**. De nombreux déchets qui pourraient être valorisés ou recyclés finissent encore dans des décharges. L'enfouissement des déchets pose de sérieux problèmes environnementaux tels que la pollution des sols, de l'eau et de l'air, ainsi que la contribution au changement climatique par la production de gaz à effet de serre.

C. Eviter les techniques d'élimination du plastique polluantes

1. L'enfouissement

Lorsqu'il s'agit de gérer les déchets dans le cadre d'une économie circulaire, l'enfouissement est une technique à éviter en priorité en raison de l'impact important qu'elle cause sur l'environnement. Cependant, cette technique reste préférable par rapport au fait de laisser les déchets se disperser dans la nature ou de les brûler à ciel ouvert. En effet, l'enfouissement est réservé aux déchets ultimes (Axelos et al., 2020), ceux que l'on ne sait pas valoriser dans des conditions techniques et économiques acceptables par extraction de la part valorisable ou par réduction de son caractère polluant ou dangereux (Mathieux, 2004).

L'enfouissement technique sert à stocker les déchets ultimes, tout en limitant les risques de pollution et de contamination de l'environnement (Thonart & Diabaté, 2006).

Les lieux d'enfouissement doivent respecter des règles strictes pour protéger l'environnement, notamment en traitant les lixiviats¹ pour protéger les nappes phréatiques (Thonart & Diabaté, 2006).

De plus, la décomposition des déchets produit du biogaz (méthane et dioxyde de carbone) qu'il faut traiter pour éviter leur contribution à l'effet de serre. Dans certains cas, le biogaz peut être utilisé comme source d'énergie en étant valorisé par une centrale électrique. En moyenne, une tonne de déchets ménagers stockés produit environ cent mètres cubes de méthane, ce qui équivaut à cent litres d'essence (Combe, 2012).

Malheureusement, la part des déchets plastiques destiné à l'enfouissement est encore bien trop élevée. Aujourd'hui, environ 25 % des déchets plastiques sont mis en décharge et destinés à être enfouis (Parlement européen, 2018).

¹ Lixiviats : eaux polluées qui se forment lorsque les eaux de pluie traversent les déchets

2. L'incinération

Dans une perspective d'économie circulaire, l'incinération peut jouer un rôle important dans la valorisation des déchets qui ne peuvent pas être recyclés ou valorisés autrement. En effet, certains types de déchets plastiques, tels que les plastiques mélangés, les films plastiques complexes ou les plastiques contaminés, peuvent être parfois impossibles à recycler de manière économiquement viable. Dans de tels cas, l'incinération peut offrir une solution viable pour extraire de la valeur des déchets plastiques (Tadmourt, 2016).

L'incinération des déchets plastiques peut permettre de récupérer de l'énergie sous forme de chaleur ou d'électricité, contribuant ainsi à la production d'énergie. Cette énergie peut être utilisée pour alimenter des installations industrielles, des bâtiments ou être injectée dans le réseau électrique, réduisant ainsi la dépendance aux combustibles fossiles. En brûlant une tonne de déchets ménagers, on peut en produire environ 700 kWh d'électricité et jusqu'à 1.500 kWh de chaleur (Mayer, 2021).

Il est essentiel de mettre en place des technologies d'incinération modernes et efficaces, équipées de systèmes de filtration et de contrôle des émissions, afin de minimiser les impacts environnementaux et sanitaires associés à cette méthode de valorisation.

Un avantage majeur de l'incinération est qu'elle réduit énormément le volume des déchets à traiter. Ainsi, les résidus solides composés de mâchefers² et de cendres ne comptent que pour 25 à 30% du poids initial des déchets incinérés. Les mâchefers peuvent ensuite être traités et réintroduits comme matières premières pour les travaux publics (Ágnes & Rajmund, 2016).

Cependant, dans une perspective d'économie circulaire, il est crucial de souligner que l'incinération ne doit être considérée que comme une solution de dernier recours, après avoir épuisé toutes les autres options de valorisation. L'accent doit toujours être mis sur la prévention des déchets, le recyclage et la réutilisation des matériaux autant que possible. De plus, il est essentiel de mettre en place des technologies d'incinération modernes et efficaces, équipées de systèmes de filtration et de contrôle des émissions, afin de minimiser les impacts environnementaux et sanitaires associés à cette méthode de valorisation (Tadmourt, 2016).

² Mâchefers : résidu de la combustion dans les fours industriels

D. Le recyclage

Le recyclage consiste en un ensemble de techniques qui ont pour objectif de **recupérer** les déchets et de les **réintroduire** dans le cycle de production dont ils sont issus (Larousse, 2023). C'est une des étapes les plus importantes de l'économie circulaire du plastique. Le recyclage est principalement utilisé pour économiser de l'énergie, des ressources et des émissions et pour réduire l'impact environnemental de l'utilisation d'un matériau.

Bien que la réduction et la réutilisation soient des options plus "vertes" (Gutowski et al., 2013), l'utilisation de matériaux recyclés au lieu de matériaux vierges est perçu comme une solution très bénéfique (Grosso et al., 2017).

Un nombre de recyclage(s) limité pour le plastique

Il est important de noter que **seuls certains types** de matériaux peuvent être recyclés de manière répétée.

Par conséquent, un matériau répondant à ces exigences a été défini comme « **permanent** » si ses propriétés intrinsèques ne changent pas au cours de l'utilisation et de la transformation solide-liquide et qu'il peut revenir à son état initial (Conte et al., 2014).

Il existe 3 familles de Polymères : les thermoplastiques, les thermodurcissables, les élastomères. Il est intéressant de prendre en compte les différentes familles de plastiques pour mieux comprendre leurs caractéristiques lors du recyclage de ceux-ci (*cfr annexe 1 « les spécificités des 3 familles de polymères »*).

Tous les polymères sont des matériaux non permanents, ils subissent des modifications chimiques progressives pendant la phase d'utilisation et/ou de recyclage, ce qui limite leur recyclabilité au fur et à mesure des cycles de recyclages (Conte et al., 2014).

Après un certain nombre de cycles, il se peut que le polymère ne soit même plus recyclable (Nait-Ali, 2008).

Il y a actuellement 2 voies majeures de recyclage pour le plastique : **le recyclage mécanique** et **le recyclage chimique**.

1) Le recyclage mécanique

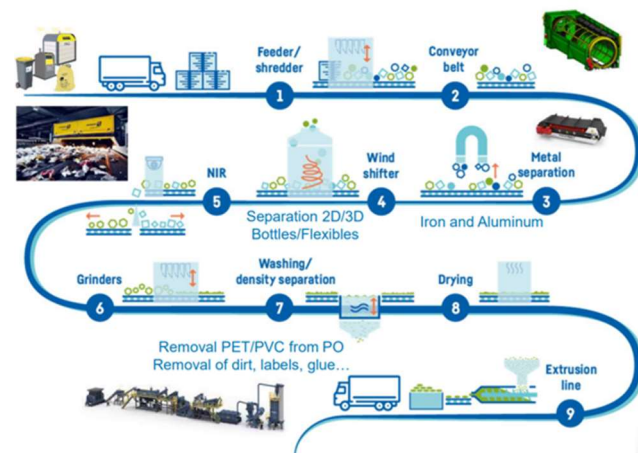
Les procédés de recyclage mécanique sont les plus répandus, ils ont déjà fait leurs preuves et sont exploités à l'échelle commerciale dans la plupart des pays européens.

Toutefois, une expansion significative de ces infrastructures est encore nécessaire pour gérer et traiter les volumes croissants de matériaux à collecter pour le recyclage.

Il est important de prendre en compte le fait que la qualité des matériaux entrant dans le processus de recyclage a un impact significatif sur les coûts et les rendements associés pour le recycleur. Il est préférable d'utiliser des matériaux d'entrée plus propres et moins contaminés, car cela réduit le coût du lavage et des processus ultérieurs, ce qui améliore à la fois le rendement et la qualité des matériaux obtenus à l'issue du processus de recyclage (Deleuil et al., 2021).

Les différentes étapes du recyclage mécanique

- 1) **Alimentateur/déchiqueteur** : les sacs collectés sont déchiquetés pour séparer les objets.
- 2) **Trommels** : les déchets passent dans de grands tonneaux percés de trous de différentes tailles (=trommels) pour opérer un premier tri entre les petites et les grandes pièces. Les pièces trop petites ne peuvent pas faire l'objet de recyclage et sont envoyées à l'incinération.
- 3) **Séparation des métaux** : les métaux sont récoltés à l'aide de gros aimants.



Source: Ceflex 2023

- 4) **Séparation des plastiques 2D et 3D par soufflage** : les films plastiques et autres matières volatiles (2D) sont soufflés et récupérés.
- 5) **NIR** : les détecteurs infrarouges reconnaissent les différents types de plastiques. Ils sont par exemple capables de différencier le PET (Polyéthylène téréphtalate) du PE (Polyéthylène) ou encore du PP (polypropylène). Différentes balles de plastique sont composées en fonction des matières identifiées pour faciliter leur transport.

Les « balles » arrivent ensuite chez le recycleur.

- 6) **Broyeurs** : les balles sont broyées en petits morceaux.
- 7) **Lavage/ séparation par densité** : les morceaux sont lavés afin de retirer les résidus indésirables tels que les poussières, la colle, les étiquettes,... Ensuite ces morceaux seront

plongés dans l'eau afin de les séparer par densité. Ce procédé est utilisé pour séparer les polyoléfinés des autres plastiques tels que le polyéthylène téréphtalate (PET), le chlorure de polyvinyle (PVC) ou le polystyrène (PS).

8) **Séchage**

9) **Extrusion** : les plastiques issus des déchets sont refondus (température de chauffe : + /- 200°C) pour refaire de nouveaux granulés.

Avantages et inconvénients du recyclage mécanique (Harizi, 2015)

Avantages :

- Faible consommation d'énergie
- Coût potentiellement inférieur (en raison de la faible consommation d'énergie)

Inconvénients :

- Il n'est applicable qu'aux thermoplastiques
- Impossibilité de traiter les microplastiques
- Limitation de la qualité du matériau recyclé résultante : limite le nombre de recyclage des plastiques
- Limitations d'applications (en raison de la dégradation des propriétés du matériau recyclé)
- Dépendance à la compatibilité des plastiques (certains plastiques sont plus faciles à recycler mécaniquement que d'autres, il est difficile de traiter les matériaux contenant différents types de plastique)
- Sensibilité à la contamination (la présence de contaminants peut nuire à la qualité du matériau recyclé et rendre le processus plus difficile et coûteux)

2) Le recyclage chimique

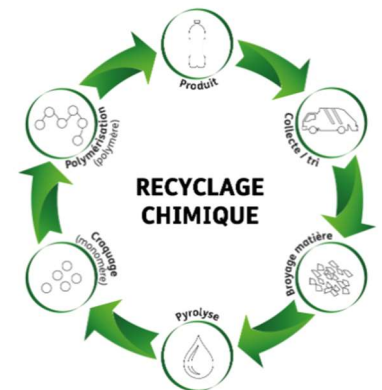
Bien que le recyclage mécanique soit une méthode efficace pour traiter certains matériaux, le recyclage chimique complète ce processus, car il est capable de traiter une gamme plus large de plastiques. En effet, le recyclage chimique permet d'éliminer les contaminants et peut gérer des plastiques multicouches mélangés. De plus, il n'y a pas de restriction technique évidente quant au nombre de cycles possibles pour le traitement d'un produit plastique par le biais du processus de recyclage avancé.

Le recyclage chimique permet de décomposer le plastique jusqu'à ses composants moléculaires. Il les transforme en matières premières pouvant être utilisées pour fabriquer du plastique circulaire dont les propriétés sont identiques à celles d'un plastique vierge. Ces matières premières obtenues peuvent ensuite être utilisées dans la fabrication d'une grande variété de produits.

Il y a trois grandes catégories de techniques qui se démarquent dans le domaine du recyclage chimique des polymères :

- 1) **Dissolution** : une méthode de recyclage moléculaire qui utilise la solubilité des polymères pour les séparer des autres matériaux. Le plastique est broyé et dissous dans un solvant approprié. Les solides sont ensuite séparés du polymère, qui est ensuite purifié. Enfin, le polymère est solidifié en étant exposé à une solution non-solvante.
- 2) **La dépolymérisation chimique** : un processus qui casse les chaînes moléculaires d'un polymère pour le ramener à son état initial de monomère. Ensuite, les monomères obtenus sont purifiés par distillation, précipitation ou cristallisation.
- 3) **La thermolyse** : une technique qui consiste à rompre les chaînes polymère à l'aide d'un traitement calorifique. La **pyrolyse**, une technologie très utilisée pour le recyclage chimique des polymères, en fait partie. La matière plastique est alors transformée en un hydrocarbure, généralement une huile
- 4) **La gazéification** : techniques qui impliquent le chauffage du plastique en présence d'oxygène (gazage) afin de produire du gaz de synthèse ou en l'absence d'oxygène (pyrolyse) afin de produire de l'huile de pyrolyse pouvant être utilisé comme

Fig 8 : Les étapes du recyclage chimique



Source: L'usine nouvelle, 2022

carburant ou comme matière première pour la production de nouveaux plastiques. Ces deux techniques sont utilisées pour le recyclage des plastiques mélangés (Kremer et al., 2021).

Avantages et inconvénients du recyclage chimique (Harizi, 2015)

Avantages:

- Opportunités de traitement pour les déchets mixtes et les déchets contaminés
- Permet de décolorer le matériau
- Fournit des matériaux de haute qualité
- Contribue à une économie circulaire plus avancée en transformant les plastiques usagés en matières premières réutilisables

Inconvénients :

- Consommation énergétique importante
- Empreinte carbone importante (génère des émissions polluantes et des résidus chimiques)
- Coûts très élevés (consommation d'énergie et investissements dans les infrastructures et les technologies)
- Certaines technologies de recyclage chimique ne sont pas encore à l'échelle commerciale

E. Le plastique bio-sourcé

Le plastique biosourcé est un plastique dont les matières premières sont issues de **sources renouvelables** (végétales, animales ou algales). Les matières premières les plus courantes sont le maïs, la canne à sucre, la cellulose. La production de plastique biosourcé permet de limiter l'utilisation de ressources fossiles et de diminuer les émissions de gaz à effet de serre (Dumont, 2022).

Attention, l'appellation « **bioplastique** » peut être ambiguë, il est important de ne pas confondre les **biosourcés** et les **biodégradables**. Les plastiques biosourcés sont ceux dont leur composition contient des matières biologiques tandis que les biodégradables sont ceux qui peuvent être décomposés par des organismes biologiques (bactéries, champignons,...)

(Rémy, 2014). Les plastiques biosourcés ne sont pas tous biodégradables et les biodégradables ne sont pas forcément issus de matières biologiques (Dumont, 2022).

Il existe deux types de polymères utilisés dans les plastiques biosourcés :

- **Les polymères identiques à ceux d'origine pétrochimique** : ceux-ci présentent certains avantages (résistance, possibilité de valorisation par recyclage) mais ils ne sont pas biodégradables. On les connaît sous le nom de **PE, PET, PA** ou encore **PU biosourcés** (De Silans, 2021).
- **Les polymères innovants** : comme les PLA (acide polylactique), les PHA (polyhydroxyalcanoates) ou les produits à base d'amidon. Ils sont **biodégradables** à condition de n'être pas mélangés à d'autres polymères. En effet, un plastique biosourcé peut ne l'être qu'en partie avec, par exemple, 30% de sa composition faite de biosourcé (Rémy, 2014).

Une alternative à utiliser avec précaution

Malheureusement, l'alternative du bioplastique n'est pas solution à tout : qu'il soit synthétisé à partir de la biomasse³ ou du pétrole, il reste une résine plastique.

Les plastiques biosourcés sont souvent considérés comme une alternative préférable aux plastiques dérivés du pétrole. Cependant, il convient de se pencher sur leur véritable impact. D'après une étude datant de 2013, les plastiques biosourcés contribuent de manière positive à la réduction de la consommation de ressources non renouvelables. Toutefois, lorsqu'on examine d'autres aspects, la réponse des plastiques biosourcés aux problèmes soulevés est plus complexe (Gélinas, 2013).

En voici les principales raisons :

- **Un bioplastique qui est biodégradable mais fabriqué à partir de pétrole** ne diminue pas la dépendance aux ressources naturelles.
- **Les plastiques biosourcés** ne règlent pas toujours les **problèmes de toxicité** ou de **gestion de déchets** qui sont posés par les plastiques conventionnels.

³ biomasse : masse de matière vivante subsistant en équilibre sur une surface donnée du globe terrestre

- **Les plastiques biodégradables le sont dans certaines conditions seulement** : ils se dégradent généralement moins bien en conditions réelles qu'en laboratoire. Ils nécessitent donc souvent d'être biodégradés industriellement. Cela pose problème car les consommateurs ont l'illusion qu'ils peuvent jeter les bioplastiques dans l'environnement alors qu'il ne faut jamais abandonner dans la nature un plastique biodégradable, compostable ou biosourcé.
- Avec les bioplastiques, les consommateurs ont tendance à oublier qu'**utiliser des produits jetables reste un énorme gaspillage**. En effet, la fabrication de bioplastiques nécessite beaucoup de matières premières et d'énergie pour un objet qui ne servira qu'une fois.
- Leur impact carbone est moindre (dû aux puits de carbone que représentent les cultures) mais **ils ont un impact écologique supérieur**. La **culture** et le **traitement** des plantes utilisées pour la fabrication sont assez **polluants**. Par exemple, il faut environ **2,39 tonnes de maïs**, **0,37 hectares** de terre et **2921 m3 d'eau** pour fabriquer une **tonne de PLA** (Sin, 2012).
- Lorsque des **plastiques compostables** sont mélangés à des **plastiques recyclables** pendant le processus de recyclage, cela entraîne une **diminution des propriétés mécaniques des matériaux recyclés**. En conséquence, la qualité est compromise et les opportunités de recyclage sont réduites (Richel, 2021).

Des études identifient de nombreux défis liés aux plastiques biosourcés.

En voici les résultats :

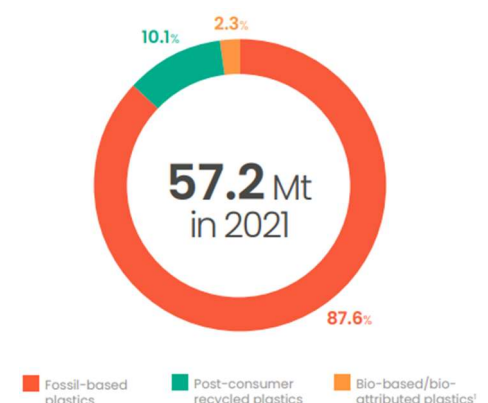
- **Adopter des pratiques agricoles plus durables** pour cultiver les ressources utilisées dans la production de polymères. Il faut privilégier les ressources non alimentaires (Gélinas, 2013).
- Opter pour l'utilisation d'additifs tels que des **plastifiants alternatifs** afin de maintenir la cohérence avec les **propriétés sanitaires et environnementales** mises en évidence par les plastiques biosourcés (Gélinas, 2013).

- **Limiter le nombre de types de plastiques biosourcés** commercialisés pour mieux les intégrer à la filière de récupération et de tri (Gélinas, 2013).
- Le **choix de la matière plastique** constituant le produit doit être pensé en fonction de la fin de vie utile de la matière, pour qu'elle soit **mise en valeur de façon optimale**. Par ailleurs, le type de plastique biosourcé devrait être choisi en fonction de son caractère biodégradable et de ses applications (Gélinas, 2013).
- Les plastiques biodégradables, compostables et biosourcés nécessitent un **étiquetage plus clair** et des **campagnes de sensibilisation** répétées à **l'intention des utilisateurs** afin de garantir leur élimination et leur traitement corrects (Ren, 2003).
- Pour éviter la dégradation des propriétés mécaniques des recyclats, il faut mettre en place **une collecte séparée des plastiques compostables** afin qu'ils ne soient pas mélangés aux plastiques « classiques ».
Par exemple, l'utilisation de méthodes de **tri automatisé** basées sur la **fluorescence** permettrait de différencier de manière adéquate le PLA du PET (Marin, 2023).

1.3.3 Limites principales de l'économie circulaire du plastique et leurs défis inhérents

Aujourd'hui, de nombreuses techniques de production s'offrent aux producteurs de polymères pour atteindre une circularité plus importante. Malgré tout, la part d'utilisation du plastique vierge reste encore bien trop importante. En effet, en 2021, la production européenne de plastique a atteint 57,2 millions de tonnes. Les plastiques recyclés et les plastiques biosourcés/bio-attribués représentent respectivement seulement **10,1 %** et **2,3 %** de la production de plastiques contre **87,6 %** pour le plastique vierge (Plastics Europe, 2023).

Fig 9 : Production mondiale de plastique en 2021



Source : Plastics Europe, 2023

L'approche actuelle de l'économie circulaire du plastique semble ne pas être en mesure d'atteindre l'objectif de recyclage proposé de 55 % d'ici 2025 (Paletta et al., 2019).

Selon une étude du journal de la production propre datant de 2019, les **obstacles prédominants** à une économie circulaire du plastique sont **premièrement d'ordre technique et technologique**, **deuxièmement d'ordre législatif**, **troisièmement, d'ordre économique** et enfin **d'ordre social**. Il est intéressant de noter que ces conclusions évoluent beaucoup d'années en années (Paletta et al, 2019).



Source : Paletta et al, 2019

Les obstacles techniques

1. **La qualité et la performance** : Le plastique recyclé peut avoir des propriétés inférieures au plastique vierge. Les propriétés physiques et chimiques du plastique recyclé peuvent varier en fonction de la qualité et de la composition des déchets plastiques d'origine. Cela peut rendre le plastique recyclé moins fiable ou moins performant dans certaines applications spécifiques, ce qui limite son utilisation dans certaines industries. Il peut par exemple présenter des pigmentations peu flatteuses ou encore être contaminé par des impuretés ou des additifs (Pivnenko et al., 2016). La qualité du plastique recyclé est généralement déterminée par l'homogénéité de la matière première plastique récupérée (Paletta et al, 2019).

➔ **Défi majeur** pour la chaîne de valeur : **améliorer la conception des produits** pour **minimiser l'hétérogénéité** des déchets et **contrôler le degré de contamination** des matériaux par l'application d'un tri avancé (Alassali et al., 2021).

2. **La disponibilité et l'approvisionnement** : Il peut y avoir une insuffisance d'approvisionnement en plastique recyclé de qualité constante pour répondre à la demande globale.

➔ **Défi majeur** : La collecte, le tri et le recyclage efficaces des déchets plastiques nécessitent des **infrastructures efficaces**, une **sensibilisation accrue** et une participation active de la part des consommateurs. Si ces systèmes ne sont pas en place ou ne sont pas suffisamment développés, l'approvisionnement en plastique recyclé peut être limité (King & Locock, 2022).

3. **La nécessité d'incorporer du plastique vierge** : une partie de la demande de plastique vierge se justifie par la nécessité dans la plupart des cas d'incorporer une certaine proportion de plastique vierge aux plastiques recyclés afin d'en améliorer ses propriétés, telles que la résistance, la durabilité et la flexibilité du matériau final.

➔ **Défi majeur : limiter au maximum l'incorporation de plastique vierge dans les produits recyclés** (Grabielle et al., 2022).

Les obstacles législatifs

1. **Réglementations et politiques** : si les politiques ne sont pas en place ou sont insuffisamment contraignantes, cela peut limiter l'utilisation du plastique recyclé. Certains gouvernements subissent des pressions économiques de la part de l'industrie du plastique vierge car ils veulent protéger leurs intérêts financiers. En effet, ces entreprises craignent que l'utilisation généralisée du plastique recyclé ne réduise la demande de leurs produits, ce qui pourrait entraîner une baisse de leurs profits. Selon Dorothee Moisan, journaliste climat environnement, l'industrie du plastique a l'avantage face à l'Union européenne qui est, elle, trop lente pour réguler la production de plastique (Lerolle, 2021).
2. **L'export des déchets à l'étranger** : pour des raisons économiques ou encore de capacités limitées de traitement, il arrive souvent que les déchets plastiques, qui pourraient être utilisés localement pour réduire leur dépendance à l'égard des matières premières vierges, soient envoyés à l'étranger pour être recyclés, cela signifie souvent que les pays exportateurs perdent l'opportunité de recycler ces matériaux sur leur propre territoire (Bernard et al., 2023).
De plus, une étude a montré des relations positives fortes et significatives entre le pourcentage de PE exporté hors d'Europe et le pourcentage d'exportations qui finissent potentiellement en débris océaniques (Bishop et al., 2020).

➔ **Défi majeur** : Il y a une nécessité urgente pour les gouvernements de prendre des dispositions adéquates et de **mettre en place des législations** et des **normes** favorisant le développement d'une économie circulaire dans le futur (Paletta et al, 2019).

Les obstacles économiques

Les coûts : Les processus de collecte, de tri, de nettoyage et de transformation des déchets plastiques nécessite des investissements en équipement et en main-d'œuvre supplémentaires, ce qui peut entraîner des coûts élevés (King & Locock, 2022).

➔ **Défi majeur:** réduire les coûts de traitements au maximum (Paletta et al, 2019).

Les obstacles sociaux

La perception des consommateurs : La perception des consommateurs peut également jouer un rôle important. Certains consommateurs hésitent parfois à acheter des produits fabriqués à partir de plastique recyclé en raison de préoccupations concernant la qualité, la durabilité ou l'hygiène.

➔ **Défi majeur :** Les producteurs de plastiques doivent être plus transparents pour sensibiliser les consommateurs aux avantages environnementaux du plastique recyclé. Des initiatives de sensibilisation du public peuvent aider à changer cette perception (Roosens, 2019).

1.4 Le marché du plastique en détail

Il est clair que le développement de l'économie circulaire du plastique **dépend fortement des mécanismes du marché**. Bien que les gouvernements jouent un rôle essentiel dans la création d'un cadre législatif et réglementaire favorable, il est crucial de reconnaître que les **incitations économiques et les signaux du marché** jouent un rôle déterminant dans la transition vers une économie circulaire du plastique. Cela nécessite une collaboration étroite entre les acteurs économiques, les gouvernements, les organisations de la société civile et les consommateurs afin de créer un environnement propice à la croissance et à l'adoption généralisée de pratiques durables.

1.4.1 La chaîne de valeur

Pour bien comprendre le marché des polymères recyclés, il est important de commencer par prendre connaissance des principaux acteurs qui influencent ce secteur.

Ces acteurs du marché du plastique sont souvent interdépendants les uns des autres, ce qui signifie qu'ils ont des relations et des échanges mutuels qui influencent leurs activités.

Voici ces différents acteurs :

- **Les collecteurs** : ils sont responsables de la collecte initiale des déchets plastiques. Il peut s'agir de **communes, d'entreprises de collecte des déchets, d'organisations de recyclage** ou même de **particuliers** qui trient et collectent les plastiques.
- **Les trieurs** : ils sont chargés de trier les déchets plastiques collectés en fonction de leur type, de leur couleur, leur qualité... Ils éliminent également les contaminants non plastiques tels que les étiquettes, les bouchons, etc. Les **centres de tri** et les **installations de recyclage** sont généralement responsables de cette étape.
- **Les producteurs de polymères**: ils fabriquent des résines à partir de matières premières telles que le pétrole brut, le gaz naturel ou d'autres produits chimiques de base. Dans le cas de la production de plastique recyclé, ils le fabriquent à l'aide des 2 techniques majeures : le recyclage mécanique et le recyclage chimique. Ils produisent des **granulés de plastiques** qui serviront ensuite de base à la fabrication de divers produits en plastique (exemples de producteurs : BASF SE, INEOS Group, LyondellBasell Industries, Covestro AG, TotalEnergies, Arkema, Solvay).

- **Les transformateurs de plastique (= plasturgistes) :** Ils utilisent les résines/les granulés de plastiques produites par les producteurs pour fabriquer des produits finis. Ils reçoivent les spécifications des marques et se chargent de la production en utilisant les techniques de moulage par injection, d'extrusion ou d'autres procédés de fabrication. Il peut s'agir de fabricants d'emballages, de fabricants d'automobiles, d'appareils électroniques, etc.
- **Les propriétaires de marques :** jouent un rôle essentiel dans le secteur du plastique. En tant qu'entreprises qui possèdent et gèrent les marques, ils ont une influence significative sur la chaîne de valeur du plastique :
 - Ils sont **responsables de la gestion de la chaîne d'approvisionnement** pour s'assurer de la disponibilité des matériaux plastiques nécessaires à la production de leurs produits.
 - Ils définissent les **caractéristiques et les spécifications des produits**, en tenant compte des besoins des consommateurs, des tendances du marché et des considérations environnementales.
 - Ils **décident quelle matière plastique ils exigent**. En effet, ils peuvent choisir d'utiliser du plastique vierge, du plastique recyclé ou du plastique biosourcé par exemple.
 - Ils **exercent certaines pressions sur les producteurs et les transformateurs**, car les propriétaires de marques sont de plus en plus conscients de leur responsabilité sociale et environnementale.
- **Les clients:** ils sont les **acheteurs finaux des produits en plastique**. Cela peut inclure les consommateurs individuels, les entreprises, les industries manufacturières, les détaillants, etc. C'est sur leurs attentes que se calent les producteurs de marques pour la conception des produits finaux.
- **Les ONG/ associations :** elles ont un impact significatif sur le secteur du plastique en travaillant à différents niveaux pour réduire la pollution plastique et promouvoir une économie circulaire. Leurs actions incitent de nombreuses entreprises à repenser leur utilisation du plastique, à adopter des pratiques plus durables et à développer des alternatives écologiques. On recense 3 organisations principales qui contribuent à

sensibiliser l'opinion publique et les acteurs de l'industrie à l'urgence de réduire la pollution plastique : **La Fondation Ellen MacArthur** , **Les Nations Unies**, **L'Alliance to End Plastic Waste** (Vous trouverez en *annexe 2* la description de ces associations).

- **Les Eco-organismes** : Leur rôle principal est de garantir que les déchets générés par les produits mis sur le marché sont collectés, triés et recyclés de manière appropriée, conformément aux réglementations environnementales en vigueur. Les éco-organismes jouent un rôle clé dans la transition vers une économie circulaire, en favorisant la réutilisation et le recyclage des matériaux. Ils jouent un rôle clé dans le cadre de la **Responsabilité Élargie du Producteur (REP)**. La REP est un principe qui vise à responsabiliser les producteurs tout au long du cycle de vie de leurs produits, en les impliquant financièrement et opérationnellement dans la collecte, le tri et le traitement des déchets qu'ils génèrent (Talbot et al., 2022).

Les **principaux éco-organismes** en Belgique sont : **Fost Plus**, **Valipac**, **Recupel**, **Bebat**

Selon une étude réalisée en 2019, une **approche collaborative et intégrative** est essentielle pour faciliter la transition vers des modèles économiques circulaires. Cela implique des solutions innovantes et des efforts considérables de la part des principaux décideurs, des trieurs de déchets plastiques, des recycleurs, des détaillants et des consommateurs. (Paletta et al, 2019)

1.4.2 Un marché dual complexe

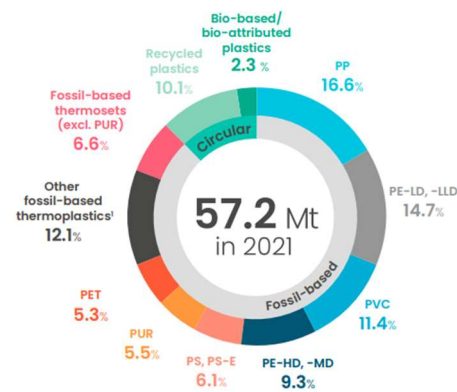
Le marché économique du plastique est une réalité complexe. Cette complexité intrinsèque, est exacerbée par les **corrélations** entre le marché du plastique **vierge** et celui du plastique **recyclé**. En effet, ces deux marchés sont étroitement liés et influencés mutuellement. Dans cette partie, nous explorerons en profondeur la dynamique de ces deux marchés avant d'analyser leurs interdépendances. Comprendre ces interconnexions est essentiel pour appréhender les défis et les opportunités du secteur du plastique.

A. Le marché du plastique vierge

Voici les spécificités de ce marché :

1. **Une demande élevée** : le plastique vierge est largement demandé dans de nombreux secteurs industriels tels que l'emballage, l'automobile, la construction, l'électronique,... En Europe, environ 87% des produits plastiques produits à l'heure actuelle sont fabriqués à partir de matières premières fossiles (Plastics Europe, 2023). Cette demande importante crée un marché dynamique et concurrentiel.
2. **Des prix volatils** : le marché du plastique vierge est influencé par les fluctuations des prix des matières premières pétrochimiques, telles que le pétrole brut et le gaz naturel. L'augmentation du prix de la résine vierge est directement liée à l'augmentation du prix du pétrole. Les pétrochimistes répercutent ensuite cette inflation des coûts dans leurs prix de vente. Les variations de l'offre et de la demande mondiale de ces matières premières peuvent donc entraîner d'importantes fluctuations des prix du plastique vierge (Glachant, 2020).
3. **Une concurrence accrue entre les producteurs** : le marché du plastique vierge est caractérisé par une concurrence féroce entre les producteurs mondiaux. En effet, les résines vierges sont échangées sur un marché mondial compétitif où la concurrence est considérée comme étant proche de la concurrence parfaite. Les grandes entreprises pétrochimiques et de plasturgie se disputent donc les parts de marché en proposant des produits de qualité, des innovations technologiques et des prix toujours plus compétitifs (Joltreau, 2021).

Fig 11 : Production européenne par type de plastique



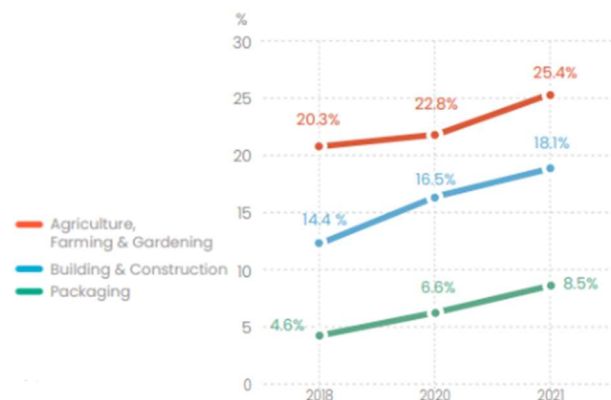
Source : Plastics Europe , 2023.

B. Marché du plastique recyclé

Le marché économique du plastique recyclé connaît actuellement une **expansion**. En 2021, le contenu recyclé après consommation a continué à croître dans les secteurs de **l'agriculture, du bâtiment et de l'emballage** (Plastics Europe, 2023).

En effet, avec une **sensibilisation croissante** à l'environnement et à la gestion des déchets, le marché du plastique recyclé connaît un intérêt croissant. Les propriétaires de marques adoptent de plus en plus le recyclage du plastique comme solution durable (Cirdrac, 2023).

Fig 12 : Contenu recyclé après consommation évolution par application



Source : Plastics Europe , 2022.

Mais le plastique recyclé **souffre** encore fortement de l'instabilité de la demande et de la **comparaison** avec le **plastique vierge** pour plusieurs raisons :

1. L'approvisionnement en matières premières : L'absence d'un volume constant de déchets plastiques et, en même temps, la difficulté de gérer des pics de déchets irréguliers et importants sont responsables de coûts supplémentaires qui rendent le marché vulnérable (Paletta et al, 2019). Les volumes de matières premières pour le plastique recyclé sont donc encore faibles et souvent inconstants (Union des transformateurs de polymères, 2023).

2. Une qualité qui laisse parfois à désirer : Dans certains cas, les plastiques issus du recyclage peuvent être de moindre qualité. Les raisons principales sont: la contamination des déchets utilisés, les mélanges de différents plastiques, les limitations technologiques,... (Bunge, 2019).

3. Les coûts de traitement : Le recyclage peut parfois nécessiter des processus de collecte, de tri, de nettoyage et de transformation plus complexes que la production de matériaux vierges (Robin, 2003).

C. Corrélations entre ces 2 marchés

L'imparfaite substituabilité et la **concurrence en prix** entre le recyclé et son substitut vierge sont des concepts liés à l'économie du plastique et à l'industrie du recyclage (BSI Economics, 2022). Ce concept fait référence au degré de **substituabilité** entre deux produits ou matériaux similaires, mais **pas parfaitement identiques** (Glachant, 2020). Dans le contexte du recyclage, cela signifie que le matériau recyclé et son substitut vierge ne sont **pas complètement interchangeables**. Bien qu'ils puissent partager certaines caractéristiques et fonctionnalités, ils peuvent différer légèrement en termes de qualité, de performance et chacun convenir à certaines applications différentes. Dans certaines applications qui doivent respecter des normes très strictes, telles que les emballages alimentaires, les producteurs peuvent choisir d'utiliser exclusivement de la résine neuve afin d'éviter tout risque de contamination lié à l'utilisation de matière recyclée (Simon, 2018).

La **concurrence en prix** entre le recyclé et son substitut vierge se produit lorsque ces deux matériaux se trouvent sur le **même marché** et sont utilisés pour des **applications similaires**. Les producteurs de matériaux recyclés et les producteurs de matériaux vierges peuvent donc être en concurrence pour attirer les clients en ajustant leurs prix respectifs. Dans ce cas, ces deux types de matières sont substituables dans leurs usages et donc concurrentes. Si le prix d'une des matières premières diminue, l'autre matière première doit également baisser de prix pour éviter de perdre des parts de marché (Joltreau, 2021).

La fluctuation des prix du plastique recyclé menace la rentabilité du recyclage. Ce problème est de nature conjoncturelle. Lorsque le prix du baril de pétrole tombe en dessous d'un certain seuil, généralement estimé à 60 dollars selon les acteurs rencontrés, le **prix des matières premières plastiques recyclées** atteint un **niveau insuffisant** pour **couvrir les coûts** incompressibles liés à la collecte, au traitement et au tri (Glachant, 2020).

Une évolution notable

Pendant très longtemps, le **polymère recyclé** était destiné aux **applications moins exigeantes**, il servait uniquement à faire du « **downcycling** ». Ce concept, aussi appelé décyclage, est un procédé par lequel on transforme un déchet matériel en un nouveau produit de qualité inférieure (Helbig et al., 2022) . En effet, à la suite du processus de recyclage, les déchets perdent généralement certaines propriétés et ont donc moins de valeur que le produit de départ. Qui dit qualité inférieure, dit prix inférieur. Les propriétaires de marques utilisaient

principalement donc les matériaux recyclés pour faire des **économies d'argent**. Ces dernières années, les matières recyclées commencent à être de meilleure qualité, car le tri des déchets est plus performant et les techniques de recyclage ont évolué.

En analysant les tendances, on se rend aisément compte qu'une des plus grandes limites au développement d'une économie circulaire du plastique est liée à l' **instabilité du marché** (Paletta et al, 2019).

Les avantages environnementaux et climatiques des plastiques recyclés ne sont pas internalisés dans les prix, ce qui entraîne un désavantage concurrentiel par rapport à l'extraction de matières premières. La viabilité économique du marché du plastique recyclé est donc incertaine. Les producteurs de polymères éprouvent donc encore parfois une certaine réticence à investir dans de nouvelles infrastructures par souci de rentabilité (Geerts, 2023).

Aujourd'hui, l'un des plus grands défis de producteurs de polymères est de rendre leur marché plus prospère, cette quête passe avant tout par la recherche d'une demande constante pour ces produits (Dowd, 2022).

La mise en place d' incitations pour booster la demande de ces matières de la part des propriétaires de marques afin d'assurer un marché du recyclage prospère semble alors primordiale (Geerts, 2023). En effet, une demande croissante des consommateurs stimule le développement des technologies qui conduisent à la création de résines recyclées de qualité supérieure. Cela ouvre la voie à des utilisations à plus forte valeur ajoutée et offre ainsi des opportunités de rentabilité accrue pour les acteurs impliqués dans l'économie circulaire du plastique (Dowd, 2022).

2. Les nouvelles législations Européennes

Cette section se concentrera sur l'évaluation des nouvelles réglementations émergentes introduites par l'Union européenne, qui doivent être adoptées par les États membres. Il convient de souligner que de nombreuses discussions sont encore en cours concernant bon nombre de ces législations, mais les points clés seront néanmoins mis en évidence.

Il est également important de noter que les réglementations abordées dans cette section se concentreront principalement sur les emballages en plastique, car ce sont les premières réglementations à entrer en vigueur.

2.1 Le Pacte vert pour l'Europe : clé de voûte d'une série de réglementations

La Commission européenne a lancé son "Pacte vert pour l'Europe" lors du sommet mondial sur le climat en 2019. Ce pacte est un plan ambitieux visant à faire de l'Europe le premier continent neutre sur le plan climatique d'ici 2050. Il agit comme une feuille de route pour transformer l'Union européenne en une société équitable et prospère, avec une économie moderne, efficace et compétitive, tout en réduisant l'utilisation des ressources (Commission Européenne, 2022a).

Le Pacte vert vise à relever les principaux défis environnementaux, climatiques, de biodiversité et de développement durable, tout en veillant à l'équité sociale. L'une des clés de sa réussite réside dans la transition vers une économie circulaire, où les ressources sont utilisées de manière efficace et où les déchets sont réduits au minimum (Service public fédéral, 2019).

En 2018, la Commission Européenne a établi des objectifs ambitieux pour promouvoir une économie circulaire dans le secteur du plastique. Afin de concrétiser cette transition, l'Union européenne propose des mesures concrètes pour transformer les défis à relever en chances à saisir et montrer l'exemple pour susciter une action résolue au niveau mondial.

Pour atteindre ces différents objectifs, il y a de plus en plus de lois mises en place par l'Union européenne pour favoriser le développement de l'économie circulaire du plastique. Il est intéressant d'analyser les différentes directives, réglementations et lois adoptées par l'Union européenne pour comprendre ce qu'elles impliquent pour les producteurs de polymères.

2.2 Les lois pour répondre à la problématique des emballages plastiques

L'emballage représente l'un des plus grands consommateurs de matériaux vierges, avec **40 % des matières plastiques** étant destinées à l'emballage (Plastics Europe, 2023). On prévoit une **augmentation de 46 %** pour les déchets d'emballages en plastique d'ici à 2030 dans l'UE (Commission Européenne, 2022). Face à l'ampleur de ce marché pour le plastique, l'Union européenne établit des règles de plus en plus strictes pour encourager une circularité plus importante des emballages.

2.2.1 Premières législations sur les emballages

La directive 94/62/CE, établie en 1994, fixe les premières règles de l'Union européenne concernant la gestion des emballages et des déchets d'emballages. Elle a été adoptée dans le but d'harmoniser les mesures nationales pour gérer ces emballages et déchets.

En 2018, la directive 94/62/CE a été **modifiée** pour inclure de nouvelles mesures visant à limiter la production de déchets d'emballages. Des **objectifs plus ambitieux** ont été fixés afin de favoriser la **réutilisation**, le **recyclage** et d'autres formes de **valorisation des déchets d'emballages**, plutôt que leur élimination finale.

Cependant, malgré l'adoption de directives visant à promouvoir le recyclage et la réutilisation des emballages, **les résultats obtenus jusqu'à présent ne correspondent pas aux attentes**. En 2020, le volume total de déchets d'emballages générés a connu une légère augmentation de **0,3 %** par rapport à 2019, atteignant **79,6 millions de tonnes** (Eurostat, 2021).

Une des raisons de ces résultats mitigés réside dans le fait que les emballages techniquement recyclables ne sont souvent pas recyclés en pratique, en raison de l'absence de processus de collecte, de tri et de recyclage disponibles ou rentables. De nombreux États membres peinent donc à atteindre les objectifs de recyclage fixés par les directives existantes (Commission Européenne, 2022).

Il fut impératif de revoir les législations actuelles et d'établir de nouvelles règles essentielles. Pour ce faire, le 30 novembre 2022, la Commission européenne a dévoilé un projet de révision de la réglementation sur les emballages et les déchets d'emballages, visant à rendre tous les emballages réemployables ou recyclables de manière économiquement viable d'ici

2030 et à conduire le secteur de l'emballage vers la neutralité climatique d'ici 2050 (Commission Européenne, 2022).

2.2.2 Proposition de règlement du parlement européen et du conseil relatif aux emballages et aux déchets d'emballages (PPWR)

La révision législative vise à **traiter trois groupes de problèmes interconnectés** (Commission Européenne, 2022b):

1. La production croissante de **déchets d'emballages**
2. Les **obstacles à la circularité** des emballages
3. Le **sous-recyclage** et les **faibles taux d'utilisation de matières recyclées** dans les emballages

Pour ce faire, l'Union européenne a proposé une série de normes contraignantes.

En voici les principaux points clés:

a) Objectifs d'incorporation contenu recyclé minimal dans les emballages en plastique

A partir du **1er janvier 2030**, la partie en plastique des emballages devra présenter un pourcentage minimal de contenu recyclé. Ce pourcentage sera variable en fonction du type de matière plastique en question. Ce pourcentage sera de (Commission Européenne, 2022b) :

- « **30 %** pour les **emballages pour produits sensibles au contact** dont le composant principal est le polyéthylène téréphtalate (**PET**) ».
- « **10 %** pour les **emballages pour produits sensibles au contact** fabriqués à partir de matériaux plastiques autres que le **PET**, à l'exception des bouteilles de boissons en plastique à usage unique (**50 % en 2040**) ».
- « **30 %** pour les **bouteilles de boissons en plastique à usage unique** (**65% en 2040**) ».
- « **35 %** pour les **autres emballages** (**65% en 2040**) ».

b) Les exigences applicables aux substances présentes dans les emballages

Le règlement stipule que les emballages devront être fabriqués de manière à « réduire au **minimum la présence et la concentration de substances préoccupantes** dans leur composition » (Commission Européenne, 2022b).

c) Les emballages recyclables

Le règlement stipule que **100% des emballages devront être recyclables**. C'est pourquoi, à partir du **1er janvier 2030**, les emballages recyclables devront « être conformes à des **critères de conception** et de **recyclabilité** définis dans des actes délégués adoptés par la Commission » (Commission Européenne, 2022b).

d) Règles relatives aux emballages compostables

- 2 ans après l'entrée en vigueur du règlement, les **sachets de thé**, les **dosettes à café**, les **étiquettes adhésives** sur les fruits et légumes et les **sacs en plastique très légers** devront être « **compostables** dans des installations de traitement des biodéchets qui sont conformes à des conditions industrielles » (Commission Européenne, 2022b).
- « Lorsque des **systèmes de collecte des déchets appropriés** et des infrastructures de traitement des déchets adéquates sont disponibles pour garantir que les emballages compostables entrent dans le flux de gestion des déchets organiques, les États membres pourront exiger que les **sacs en plastique légers** ne soient mis sur le marché que s'ils sont entièrement fabriqués à partir de **polymères plastiques biodégradables compostables** dans des **conditions industrielles contrôlées** » (Commission Européenne, 2022b).
- 2 ans après l'entrée en vigueur du règlement, « les autres emballages, y compris ceux fabriqués à partir de polymères plastiques biodégradables, **devront permettre le recyclage des matériaux sans compromettre le recyclage d'autres flux de déchets** » (Commission Européenne, 2022b).

e) Réduction minimale des emballages

- Les emballages devront être conçus de manière à « réduire leur **poids** et leur **volume** au **minimum nécessaire** pour assurer leur **fonctionnalité** ».
- Les **emballages** qui « ne sont **pas nécessaires** pour répondre aux critères de performance ainsi que ceux qui ont des caractéristiques visant uniquement à augmenter le volume perçu du produit », **ne devront pas être mis sur le marché**.

- L'**espace vide** dans les emballages devra être « **réduit au minimum** nécessaire pour assurer leur **fonctionnalité** » (Commission Européenne, 2022b).

f) Prévention des déchets d'emballages

Chaque État membre devra « **réduire la quantité de déchets d'emballages produits par habitant**, par rapport à la valeur de 2018 : de 5 % d'ici à 2030, de 10 % d'ici à 2035, de 15 % d'ici à 2040 » (Commission Européenne, 2022b).

g) La responsabilité élargie des producteurs d'emballages

Les producteurs d'emballages seront **responsables de leur gestion des déchets** conformément aux régimes de **responsabilité élargie des producteurs**. Ils devront **désigner un mandataire** dans chaque État membre où ils mettent des emballages à disposition (Commission Européenne, 2022b).

2.2.3 La réglementation 2022/1616 relative aux matériaux et objets en matière plastique recyclée destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires

Étant donné qu'une grande partie des matériaux d'emballage en plastique sont utilisés comme emballages alimentaires, la stratégie européenne sur les matières plastiques dans une économie circulaire ne pourra atteindre ses objectifs que si la part de plastique recyclé dans les emballages alimentaires augmente également. (Commission Européenne, 2022b)

Cependant, il est essentiel de souligner qu'une condition préalable à l'augmentation de la part de matériaux recyclés dans les emballages alimentaires et les autres matériaux en contact avec les aliments est la **nécessité de maintenir un niveau élevé de protection de la santé humaine**. En effet, les déchets de matériaux plastiques, même d'origine alimentaire, peuvent contenir des contaminants accidentels qui peuvent compromettre la sécurité et la qualité des matériaux plastiques recyclés destinés au contact alimentaire. Il est donc nécessaire de **décontaminer les plastiques** afin d'éliminer tout risque pour la santé humaine lorsqu'ils sont utilisés pour fabriquer des matériaux plastiques recyclés destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires (Commission Européenne, 2022b).

Afin d'instaurer la confiance des consommateurs et des acteurs de l'industrie alimentaire envers les matériaux décontaminés et d'assurer une interprétation uniforme du niveau de décontamination jugé suffisant, il est nécessaire d'établir un ensemble de règles uniformes qui régissent la décontamination des matériaux plastiques recyclés destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.

Auparavant, les plastiques recyclés destinés au contact alimentaire étaient régis par le règlement européen 282/2008. Cependant, ce règlement ne couvrait pas toutes les technologies de recyclage, notamment la dépolymérisation chimique, l'utilisation de chutes et de débris, ainsi que l'emploi de couches barrières.

Le nouveau règlement du 15 septembre 2022 met l'accent sur la capacité des technologies actuelles et futures considérées comme "appropriées" à garantir leur aptitude au contact avec les denrées alimentaires. De cette manière, il reconnaît officiellement le recyclage chimique.

Points clés de la réglementation (Commission Européenne, 2022b) :

- Les méthodes de recyclage utilisées doivent assurer la **sécurité microbiologique** des matériaux en plastique recyclé.
- Les matériaux recyclés ne doivent **pas être nocifs pour la santé humaine** et ne doivent **pas altérer** de manière inacceptable les **propriétés des aliments**.
- Les matériaux recyclés doivent être **classifiés en fonction de leur type**, de leur **mode de collecte** et de **l'origine des matières premières**.
- Les **technologies** utilisées pour la fabrication des matériaux et objets en plastique recyclé doivent être **appropriées** et respecter les exigences réglementaires.
- Les déchets plastiques collectés doivent provenir de **déchets municipaux**, de **ventes au détail spécifiques de denrées alimentaires** ou **d'autres entreprises du secteur alimentaire**, collectés de manière certifiée.
- Les exploitants du secteur alimentaire doivent se conformer aux **instructions d'utilisation des matériaux en plastique recyclé** et fournir des informations pertinentes aux consommateurs.
- Avant d'être approuvées par la Commission, les **nouvelles technologies** de recyclage doivent être **évaluées par l'Autorité européenne de sécurité des aliments**.

2.2.4 Réglementation single use plastic (SUPD)

Les plastiques à usage unique représentent 50% des déchets trouvés sur les plages de l'UE. Les bouteilles, les filtres à cigarettes et les cotons-tiges sont en tête de liste de cette pollution plastique (Olivier, 2023). Les produits en plastique à usage unique sont donc généralement plus susceptibles de finir dans l'eau des océans (Parlement Européen, 2019).

Adoptée en 2019, la directive vise à promouvoir une économie circulaire, avec des modèles d'entreprise, des produits et des matériaux innovants et durables, contribuant ainsi au fonctionnement efficace du marché intérieur. De cette manière, les dépôts sauvages et la propagation de ces déchets dans la nature peuvent être évités et l'impact de certains produits en plastique sur l'environnement et sur la santé humaine peuvent être réduits (Parlement Européen, 2019).

Les états membres de l'UE sont donc tenus de prendre des mesures pour réduire la consommation de certains produits à usage unique pour lesquels il n'existe pas d'alternative. Cette réglementation porte sur les produits de plastique destinés à être éliminés peu après leur utilisation. Elle comprend tous les couverts, les pailles, les cotons-tiges, les bâtonnets pour mélanger les boissons, les tiges des ballons de baudruche, les récipients pour boissons, les mégots de cigarettes, ainsi que les sacs en plastique et les lingettes. Les produits à base de plastique oxodégradable⁴ (c'est-à-dire les petits sacs dans lesquels on mettait auparavant les fruits et légumes au supermarché) sont également concernés (Olivier, 2023).

Ce texte fixe aussi l'objectif de trier séparément 77 % des bouteilles en plastique d'ici 2025 et jusqu'à 90 % d'ici 2030. À la même date, les bouteilles devront être constituées d'au moins 30 % de plastique recyclé (Parlement Européen, 2019).

Enfin, la directive comprend une série de mesures concernant la conception des produits, la sensibilisation des citoyens et la responsabilité des producteurs (Olivier, 2023).

La législation européenne consacre ainsi le principe du "pollueur-payeur", forçant ce dernier à assumer les coûts de gestion et d'assainissement des déchets. Les producteurs devront couvrir les coûts de la collecte des déchets et le nettoyage des détritrus (Parlement Européen, 2019).

⁴ Plastique oxodégradable : matières plastiques qui comprennent des additifs qui, par oxydation, entraînent la fragmentation de la matière plastique en microfragments ou sa décomposition chimique.

3. Conclusion de la première partie et identification des questions de recherche

Le contexte actuel dans lequel évoluent les producteurs de polymères est complexe. Les pressions environnementales les poussent à revoir leurs systèmes de fonctionnement et leur production. Cela exige des transformations radicales dans toute la chaîne de valeur, tant sur le plan organisationnel que technique, en mettant en place des infrastructures plus performantes et en développant des produits alternatifs innovants et durables.

Malheureusement, le marché du plastique recyclé reste marginal par rapport au marché des plastiques vierges. L'interdépendance et la substitution entre les matières vierges et recyclées créent une incertitude qui limite considérablement le développement du marché du plastique recyclé.

Afin de promouvoir une économie plus circulaire du plastique, l'Union européenne et les gouvernements nationaux mettent en place des réglementations visant à encourager la réutilisation, le recyclage et la réduction du plastique. Cependant, la majorité de ces réglementations sont encore en phase de discussion ou n'ont pas été adoptées de manière uniforme par tous les États membres. Cette situation crée un climat d'incertitude dans lequel les acteurs du marché évoluent avec une certaine marge de manœuvre.

Dans ce contexte, l'évaluation des véritables répercussions de ces réglementations sur les producteurs de polymères et la détermination des défis et opportunités qu'elles engendreront concrètement s'avèrent complexes. Il est impératif pour les entreprises de trouver des solutions afin de relever ces défis et saisir ces opportunités pour rendre le marché du plastique recyclé plus florissant. Cependant, les actions à entreprendre demeurent généralement abstraites et les points d'attention identifiés comme prédominants varient d'un cas à l'autre.

Face à l'incertitude qui règne dans ce contexte, il est essentiel d'interroger les producteurs de polymères et d'autres experts de la chaîne de valeur afin d'identifier clairement les défis et les opportunités inhérents à ces nouvelles réglementations émergentes, ainsi que les solutions qui s'offrent à eux en pratique pour prospérer sur un marché du recyclé.

La partie empirique de ce mémoire visera donc à répondre à **ces 2 questions** :

1. Quels défis et opportunités se dessinent pour les producteurs de polymères face aux pressions réglementaires et à l'instabilité du marché?
2. Quelles solutions circulaires peuvent-ils adopter pour relever les défis et capitaliser sur les opportunités qui se présentent ?

Partie 2

4. Partie Empirique

4.1 Méthodologie

Afin d'apporter une réponse pertinente à nos deux questions de recherche formulées précédemment, nous aurons recours à une méthodologie qualitative, car ces méthodes « ont davantage vocation à comprendre, à détecter des comportements, des processus ou des modèles théoriques, qu'à décrire systématiquement, à mesurer ou à comparer. » (Degeorge, 2015)

Cette méthodologie qualitative sera effectuée grâce à une analyse exploratoire basée sur des entretiens avec divers professionnels de l'industrie. Cette approche nous permettra d'identifier les perspectives réelles qu'elles déclenchent en pratique pour les professionnels du secteur. Les méthodes de recherche qualitative offrent une opportunité d'approfondir et d'élargir les connaissances déjà existantes, en permettant d'accéder aux idées, aux réflexions et aux cadres conceptuels des individus (Royer, 2015).

Les données seront collectées à travers une série d'entretiens individuels semi-directifs réalisés en face à face, à l'aide d'un guide d'entretien parfois légèrement adapté en fonction de l'interlocuteur et de la discussion. L'approche semi-directive s'avère la plus appropriée pour comprendre les positions et les perceptions des personnes et entreprises interrogées par rapport à notre problématique. En effet, l'entretien semi-directif permet l'utilisation souple d'un guide d'entretien et encourage les stratégies d'analyse comparative et cumulative des participants (Damhuis & Ruquoy, 2012). Au fur et à mesure des entretiens, le guide d'entretien sera de plus en plus centré afin d'obtenir une vision claire des différents aspects de notre problématique pour les professionnels du secteur. Au cours de cette phase de recherche, je rencontrerai dix professionnels du secteur lors de six entretiens différents. Trois entretiens seront menés avec des responsables de grandes entreprises de production de polymères tels que TotalEnergies et Ineos Inovyn et trois autres avec des experts de l'économie circulaire du plastique tels que Plastics Europe, Plarebel ou encore Essenscia. (Vous pourrez retrouver la retranscription de ces interviews en annexe 3)

En utilisant cette méthodologie, nous pourrions obtenir une compréhension approfondie des défis des producteurs de polymères, des opportunités qui en découlent et des solutions actuellement mises en œuvre par ces producteurs ainsi que celles qu'ils prévoient d'adopter à l'avenir. Je présenterai ces résultats dans un tableau comparatif que vous trouverez ci-dessous au point 4.3. Dans mon analyse, j'aborderai les défis, opportunités et solutions selon leur ordre d'importance dégagé par l'analyse des résultats du tableau.

4.2 Présentation des personnes interviewées

Nom de l'interlocuteur	Entreprise	Poste
Matthieu Adam-Berret	TotalEnergies	Business & Project Analyst senior Recycling
Bernard Mouteau	TotalEnergies	Chef de projet Senior
Judit Guerra-Falcon	Plastics Europe	Technical Affairs and Circular Economy Manager
Charlotte Delvaux	Plastics Europe	Senior Manager
Manon Marlier	Plarebel	Project Manager - Circular Plastics
Luc Castin	Ineos Inovyn	Sustainability Business Manager
Olivier Van Volden	Essenscia	Packaging Expert and Circular Economy
Saskia Walraedt	Essenscia	Director Essenscia PolyMatters

4.3 Présentation synthétique des résultats des entretiens

	TotalEnergies 1	TotalEnergies 2	PlasticsEurope	Plarebel	Ineos Inovyn	Essenscia	Nombre total
Défis							
Fournir des produits recyclés de haute qualité	X	X		X			3
Proposer des plastiques recyclés à des prix acceptables	X						1
Développer des polymères qui nécessitent moins de matière dans le produit final	X	X	X				3
Développer des polymères substituant les polymères problématiques + Améliorer la recyclabilité	X		X				2
Faire reconnaître les techniques de recyclage émergentes	X		X	X	X	X	5
Faire reconnaître la technique de calcul Mass Balance	X		X	X	X	X	5
Développer une résilience pour faire face aux chocs/ aux variations importantes du marché	X						1
Augmenter/ développer le recyclage		X			X	X	3
Concentrer/agréger des volumes de déchets pour les recycler	X	X	X	X	X		5
S'alimenter en feedstock de qualité (+ de TRI)		X		X			2
Connaître la composition du feedstock qui entre dans les filières de recyclage		X		X			2
Investir dans des infrastructures de recyclage plus performantes	X		X				2
Répondre aux exigences élevées des clients		X					1
Prendre en compte les réglementations qui vont arriver pour les autres secteurs et appréhender les besoins du marché		X	X		X		3
Éviter la pollution micro plastiques causée par les pellets			X				1
Faire face aux incohérences des réglementations				X		X	2
Faire face à un contexte législatif turbulent et instable						X	1
Avoir un plastique recyclé qui satisfait les exigences de la réglementation 2022/1616				X			1
Faire reconnaître les bio based feedstock comme faisant partie des objectifs de recyclage					X		1
Traiter les plastiques pour enlever les additifs et autres composants problématiques					X	X	2
Connaître l'âge a du produit à recycler					X	X	2
Opportunités							
Demande plus importante et plus constante créée par les mandats d'incorporation	X	X	X	X		X	5
Nouvelles sources de polymères durables grâce au développement des biopolymères	X	X			X		3
Des normes d'incorporation pour les autres secteurs (automobile et construction)	X	X			X		3
Utilisation des chutes pour refaire des polymères		X					1
Tirer parti des certifications ISCC			X				1
Les guidelines d'éco conception augmentent la demande de produits recyclés				X			1
Le recyclage chimique permet d'avoir un matériau recyclé de haute qualité (pour le contact alimentaire)	X	X	X	X			4
Le recyclage chimique nécessite des installations déjà maîtrisées par les producteurs de polymères				X			1
Green washing qui assure une demande pour les produits recyclés				X			1
La consigne digitale				X	X		2
Le recyclage du PET est mature					X		1
Solutions							
Investissement dans des infrastructures de recyclage performantes	X		X				2
Travailler sur la technicité des polymères	X	X					2
Développer le recyclage chimique (Pour les applications alimentaires)	X	X	X	X	X	X	6
Faire baisser le coût du recyclage chimique	X	X	X	X			4
Améliorer le tri par intelligence artificielle	X						2
Diversifier le portefeuille d'offre	X		X	X		X	4
Stratégie de M&A	X	X		X	X		4
S'associer avec des start-ups		X		X			2
Attirer les investissements en trouvant un équilibre entre ambition et réalisme		X					1
Combinaison adéquate du recyclage mécanique et chimique (gradation des solutions)		X	X	X	X	X	5
Sensibiliser les consommateurs au tri/ à l'acceptance	X	X		X			3
Développement du recyclage physique			X		X		2
Communication et collaboration entre les différents acteurs					X	X	2

4.4 Analyse des résultats

Suite aux entretiens avec les experts, nous avons réussi à identifier les principaux axes de préoccupation qui les animent. Les perceptions exprimées par la majorité des intervenants se sont révélées convergentes. En conséquence, nous avons pu déterminer les défis majeurs, les opportunités jugées prometteuses et les solutions considérées comme les plus pertinentes par ces professionnels en vue d'accroître la circularité et de contrer l'instabilité du marché.

4.4.1 Les défis des producteurs de polymères

A. Les défis d'ordre législatif

1. Reconnaissance du recyclage chimique par les législateurs

Le recyclage chimique est l'une des technologies de recyclage les plus prometteuses pour augmenter la circularité des plastiques. Malheureusement, elle reste encore sous-développée aujourd'hui. Une des principales raisons à cela, c'est que le recyclage chimique n'est pas reconnu de manière adéquate par la réglementation. Les produits qui sortent de ces voies de recyclage ne sont pas reconnus pour l'instant comme des produits recyclés en tant que tels, ils sont considérés comme des produits vierges, car ils sortent des mêmes usines de production. Pour développer cette technologie, l'investissement dans de nouvelles infrastructures est plus que jamais nécessaire, mais comme le souligne l'intervenant de Plastics Europe : « *En tant que producteur, vous voulez être sûr que votre investissement sera soutenu. En effet, si vous recyclez quelque chose chimiquement et que vous ne pouvez pas affirmer par la suite que cela provient d'un recyclage chimique, votre investissement n'aura servi à rien* ». Les producteurs n'ont pour l'instant pas la sécurité juridique d'être soutenus, or, peu de producteurs veulent investir sans avoir de garanties qu'un avenir certain est réservé au recyclage chimique. Les producteurs de plastiques et les autres acteurs du recyclage doivent donc mener un combat pour que les législateurs reconnaissent cette technologie afin que la circularité du plastique puisse atteindre un niveau supérieur. En effet, comme le met en évidence Essenscia : « *un des défis les plus importants concerne la validation et la reconnaissance des nouvelles technologies de conversion du carbone comme étant des procédés qui soutiennent la transition vers le développement durable* ».

2. La reconnaissance des certifications de Mass Balance

En plus de la reconnaissance du recyclage chimique, il faut absolument que les producteurs se battent pour faire reconnaître des techniques de calcul de « mass balance ». Puisque l'huile de pyrolyse issue du recyclage chimique est combinée avec des matières premières fossiles vierges dans les usines de production, les méthodes de bilan massique permettent de déterminer la proportion de polymères recyclés chimiquement qui sont produits dans ces installations. En d'autres termes, ces techniques permettent de calculer la quantité de plastiques provenant du recyclage chimique qui est réellement générée par les usines. Pour garantir l'intégrité du système, la proportion de matière recyclée chimiquement que produit une usine doit être reconnue par des organismes tiers qui octroient donc des « certificats de mass balance ». Grâce aux systèmes de certification de masse, les entreprises ne sont pas tenues de séparer physiquement les matières premières durables de celles qui ne le sont pas. Cela évite donc de devoir multiplier les infrastructures et donc d'éviter des surcoûts. Le nombre de certificats de masse émis correspond à la quantité totale de matières premières durables achetées, ces certificats sont donc essentiels pour assurer la transparence envers les consommateurs. En effet, l'expert Luc Castin d'Ineos a très bien illustré l'importance de cette transparence, selon lui : *« Il est primordial pour les producteurs de montrer à leurs clients qu'en achetant leurs produits, ils peuvent se targuer d'utiliser des produits fabriqués à partir d'une quantité X de recyclé. Cela n'intéresse aucun client de dire qu'il y a X % d'huile de pyrolyse recyclée pour X% de produits fossiles dans nos crackers. Les clients veulent avant tout pouvoir vendre leur produit en clamant qu'il est composé de 30% de plastique recyclé afin de le vendre en tant que produit labellisé. »*

La reconnaissance officielle de ces méthodes de certification de mass balance par les législateurs est d'une importance capitale pour assurer la pérennité du recyclage chimique. Le souci, c'est qu'encore une fois, faire comprendre ce concept aux législateurs n'est pas chose aisée ; cette difficulté a été mise en exergue par nos interlocuteurs de Plastics Europe : *« Quand on explique aux législateurs en quoi consiste le concept de mass balance, ils ne comprennent pas, ils pensent qu'on essaye de vendre nos propres intérêts en faisant du greenwashing. Comme le plastique a une mauvaise réputation pour le moment, personne ne veut écouter ce qu'on leur explique. »*

3. Anticiper les législations qui vont arriver dans les autres secteurs

Les réglementations PPWR, 2022/1616 et SUP sont des réglementations axées sur le secteur de l'emballage, elles ont donc toute l'attention des producteurs pour l'instant mais il ne faut pas négliger le fait que les autres secteurs comme l'automobile ou la construction représentent de gros marchés de la production de plastique. On attend d'ailleurs de nouvelles réglementations imminentes qui concernent ces secteurs. Lors de son interview, Bernard Mouteau nous a partagé la vision de TotalEnergies sur ces nouvelles réglementations : « *Nous pensons que ces nouvelles normes représenteront une opportunité pour nous, car ce genre d'applications acceptent bien les matériaux polymères à base de recyclés. Par exemple, les pièces automobiles qui sont souvent noires et donc peu exigeantes en matière de coloris* ».

Un défi majeur est donc d'appréhender ce qui va se passer au niveau législatif dans ces secteurs. Selon Luc Castin d'Ineos, ces législations seront fortement inspirées des réglementations sur les emballages : « *Les réglementations qui impactent le secteur de l'emballage nous intéressent fortement, car elles donnent le ton pour les autres secteurs. Les discussions sont en cours dans celui de la construction par exemple, on va y voir la même chose avec des niveaux d'incorporation différents. On a une préoccupation fondamentale de savoir ce qui va se passer dans un laps de temps de 3 à 7 ans, pour savoir répondre aux nouveaux besoins du marché* ».

4. Faire face aux incohérences législatives

Certains points réglementaires mènent parfois à l'incompréhension ou à l'inefficacité. Les producteurs de polymères doivent être avertis de certains effets contraires de ces réglementations qui n'ont pas toujours un effet bénéfique sur le problème qu'elles entendent traiter.

Les objectifs de réduction et recyclabilité sont parfois un peu incohérents, car les plastiques mis sur le marché doivent être composés d'un minimum de matière mais ils doivent également être réutilisables. Comme le dit la professionnelle de Plarebel : « *Les objectifs de réutilisation et de réduction/recyclabilité se marchent un peu dessus. Pour être réutilisables, les plastiques doivent être plus épais mais par contre, les brandowners sont soumis à des obligations de diminution de mise sur le marché du plastique. Ils doivent diminuer la quantité*

de plastique mise sur le marché mais également augmenter la durabilité des produits. Un défi est donc de voir comment les objectifs de réutilisation et de réduction peuvent cohabiter ».

La réglementation sur les plastiques à usage unique risque de limiter grandement le flux de déchets à recycler. Elle risque d'induire une réduction systémique du recyclage difficile à absorber par le secteur. En effet, comme l'affirme les professionnels d'Essenscia : *« La réglementation SUP impacte les producteurs de polymères, elle implique une décroissance. A l'inverse de la croissance qui compense les instabilités du marché, la décroissance implique un risque de rupture dans un système circulaire. La décroissance impacte ce qui va être injecté dans la chaîne des matériaux au niveau du recyclage. Cet appauvrissement tend à augmenter les coûts des matières recyclées ».*

B. Les défis d'ordre technique

1. Agréger des volumes importants de déchets

Aujourd'hui, un des plus grand défis du recyclage, dans lequel de nombreux producteurs de polymères sont de plus en plus impliqués, est d'être capable de rassembler une quantité de déchets suffisamment importante pour faire tourner les usines de recyclages qui doivent fonctionner en continu, comme l'expliquent les intervenants d'Essenscia : *« Il faut 100 000 tonnes par an pour faire tourner le recyclage et si on a que 5 000 tonnes, cela ne peut pas aller. Les procédés de la chimie lourde sont des procédés continus, donc on ne peut pas arrêter la chaîne si l'approvisionnement n'est pas suffisant ».*

Il faut donc s'approvisionner en un recyclat de qualité en quantité suffisante pour satisfaire la demande de manière constante. Ce défi est également soutenu par la professionnelle de Plarebel : *« Le taux de recyclage a un impact direct sur la quantité de recyclat disponible. Il faut absolument agréger suffisamment de matière plastique de bonne qualité pour alimenter le recyclage afin que les producteurs de résines puissent offrir à leur client suffisamment de plastique recyclé. Plus le recyclat sera de qualité, plus ils pourront en incorporer ».*

Pour certains plastiques, il est très difficile de récupérer une quantité importante de déchets tant elle est dispersée dans de nombreuses applications ce qui complique fortement les possibilités d'obtenir un flux important de matière première pour le recyclage. Cette complexité est rencontrée par Ineos : *« Le PVC est utilisé dans des centaines d'applications différentes, on ne le retrouve donc pas facilement en tant que déchets. Il est difficile d'agréger*

suffisamment déchets de PVC pour les recycler. Etant donné que les déchets ménagers ne sont composés que par un faible pourcentage de PVC, il faut donc des méthodes de tri avancées pour isoler ces quelques pourcents ».

Un défi connexe au fait de devoir collecter les déchets en grande quantité est de connaître de manière précise ce qui compose le flux de déchets. Bernard Mouteau de TotalEnergies a également souligné ce défi : *« Il est difficile de faire un plastique de bonne qualité avec des mélanges de déchets très hétérogènes, un des défis majeurs consiste à savoir ce qui compose le feedstock qui entre dans les filières de recyclage ».*

Connaître la composition de ce flux permet de savoir comment traiter ces déchets, de choisir la voie de recyclage adéquate qui permettra d'en retirer le plus de produit. Cette problématique est d'ailleurs prise en compte par Plarebel : *« Nous faisons des analyses de qualités dans les centres de tri pour vérifier ce qu'il y a dans les nouveaux flux en terme de couleur, en terme de polymères. Nous vérifions si ces flux sont compatibles avec ce que les recycleurs peuvent recevoir en input ».*

TotalEnergies travaille d'ailleurs sur une solution : *« Nous voulons innover au niveau du recyclage mécanique en améliorant le tri grâce à l'intelligence artificielle, ce qui permettrait de reconnaître les emballages alimentaires, généralement de meilleure qualité, par rapport aux emballages non alimentaires ».*

2. Fournir des polymères recyclés de haute qualité

Ce défi semble évident mais il est plus que jamais d'une importance capitale. Pour concurrencer les matériaux vierges, les produits recyclés doivent avant tout être d'une qualité comparable, comme le remarque aussi le premier intervenant de TotalEnergies : *« Le défi majeur face à la réglementation PPWR, c'est clairement d'être capable de fournir des produits recyclés de haute qualité et de qualité constante afin qu'ils puissent répondre aux besoins des clients dans des prix acceptables ».* En effet, les nouveaux objectifs d'incorporations de contenu recyclé qu'imposent la législation PPWR rend l'importance de cette qualité encore plus primordiale. Nous avons vu que plus le produit recyclé était de haute qualité, moins il fallait ajouter de produit vierge pour équilibrer ses performances. Un produit recyclé de qualité permet donc d'atteindre ces objectifs d'incorporations de manière plus aisée.

La réglementation 2022/1616 impose des normes très strictes en ce qui concerne la décontamination des plastiques recyclés, les plastiques doivent être les plus purs possible pour satisfaire les tests de migration imposés par cette réglementation. Cette problématique est d'ailleurs relevée par la professionnelle de Plarebel : *« La législation 2022/1616 impose une qualité du plastique qui doit être irréprochable pour les applications de contact alimentaire. Si les producteurs de plastiques ne peuvent pas fournir un plastique recyclé de qualité, celui-ci ne pourra pas être utilisé dans ce genre d'applications. »*

3. Développer des polymères durables pour contribuer à l'écoconception

Les législations exigent que les emballages plastiques soient conçus de manière à réduire leur poids et leur volume au minimum. Lors de l'interview, les intervenantes de Plastics Europe insistent d'ailleurs sur cela : *« Nos membres doivent travailler sans relâche pour permettre des plastiques toujours plus fins. Avant, les films plastiques utilisés pour porter les packs d'eau faisaient à peu près 100 microns. Aujourd'hui, grâce à la R&D, on peut faire des emballages de 50 microns ce qui correspond à 2 fois moins de matière »*. Les producteurs doivent donc travailler sur la technicité des polymères afin de développer des produits qui permettent de mettre le minimum de matière possible pour la même utilité et ainsi diminuer l'empreinte écologique des produits mis sur le marché. Bernard Mouteau de TotalEnergies nous fait remarquer qu'ils ont déjà commencé en ce sens : *« Dans le cas des pièces automobiles, les constructeurs font la chasse aux kilos. Nous travaillons donc pour développer des polymères qui sont plus performants mécaniquement, qui permettent d'utiliser moins de matière tout en conservant les propriétés essentielles »*.

Pour permettre un recyclage efficace, il faut avant tout éviter de produire des plastiques non recyclables. La réglementation PPWR impose que tous les plastiques soient recyclables d'ici 2030. Mais il y a encore beaucoup trop de plastiques problématiques qui composent nos emballages aujourd'hui.

Le travail d'éco-conception doit être réalisé par le transformateur et le propriétaire de marque mais le producteur de polymères doit être là pour proposer des solutions. L'entreprise TotalEnergies l'a d'ailleurs bien compris : *« Aujourd'hui, les films multicouches pour l'alimentaire posent problème pour le recyclage. Prenons le cas des sachets de gruyère, ils sont composés d'un mélange de polyéthylène et de polyamide, car le polyamide va apporter la protection à l'oxygène pour le gruyère. TotalEnergies essaye de trouver des solutions qui*

permettraient d'éliminer le polyamide, car le mélange de PE et de polyamide n'est pas recyclable ».

4. Connaître l'âge du produit à recycler pour traiter les additifs problématiques

Les réglementations sur les additifs chimiques évoluent avec le temps à mesure que de nouvelles recherches mettent en évidence des risques pour la santé ou l'environnement. De plus en plus d'additifs qui étaient utilisés dans le passé dans certains plastiques sont maintenant interdits. Il est donc nécessaire de traiter ces déchets pour en ôter les additifs problématiques avant de les recycler pour qu'ils correspondent par la suite aux normes d'aujourd'hui. Pour ce faire, les recycleurs doivent prendre en compte l'âge du déchet qu'ils traitent de sorte qu'ils puissent prendre des décisions éclairées sur le traitement approprié de ces produits en fonction de la période de leur fabrication et des additifs potentiellement problématiques qu'ils pourraient contenir. Cette problématique est vécue par Ineos et décrite par le professionnel interrogé : *« La manière d'additiver le PVC a évolué dans le temps. Il y a 10 ans, on utilisait certains stabilisants dans le PVC qui sont maintenant interdits. Le plomb était utilisé comme additif pour le PVC mais il a été considéré comme mauvais, donc on l'a interdit. Le problème, c'est qu'aujourd'hui, si on récupère un PVC d'il y a 20 ans, il est composé de plomb. Il faut donc trouver des solutions pour éliminer les additifs problématiques dont on ne veut pas ».*

L'âge du produit peut également donner des indications sur la dégradation qu'a subie le plastique au fil du temps. Il faut donc prendre en compte le passé du produit mais également le futur. Les producteurs doivent prendre en compte la future application du polymère en évitant d'y incorporer des additifs qui risquent d'être interdits dans les années à venir.

Ce défi a été mis en évidence par Essenscia : *« Lorsqu'on recycle une voiture, on doit traiter des plastiques qui respectaient des normes d'il y a 20 ans et le produit qui sera remis sur le marché devra prévoir une situation de 20 ans dans le futur ».*

4.4.2 Les opportunités

1. Une demande boostée par les normes d'incorporation

Les personnes interviewées lors de ce travail sont unanimes, les nouvelles normes d'incorporation de contenu recyclé que prône la réglementation PPWR déclenchent l'opportunité d'enfin avoir une demande plus pérenne pour les produits recyclés. En effet, comme nous l'affirme le premier intervenant de l'entreprise Total Energies : *« Les mandats d'incorporation permettent de créer un marché obligatoire pour le recyclé. Cela donne donc une pérennité beaucoup plus importante au business du recyclé et aux évaluations de la demande. Ils peuvent donc prévoir des investissements en étant sûrs d'avoir de la demande ».*

Cette demande en croissance poussera les producteurs à investir dans un recyclage plus ambitieux pour assurer l'offre conséquente qui sera requise ; la circularité sera dans ce cas décuplée. En effet, Plastics Europe est convaincu de l'efficacité de ces nouvelles mesures : *« Nous sommes entièrement favorables aux objectifs de contenu recyclé, nous les défendons dans nos différentes phases de négociation avec les pouvoirs publics. La réglementation PPWR, c'est notre bébé. Nous savons qu'elle peut considérablement accélérer la circularité des plastiques, car elle encourage la transformation des déchets en de nouveaux produits ».*

2. Le développement de biopolymères

Les biopolymères offrent une source alternative de matière durable qui peut contribuer à réduire l'empreinte carbone des producteurs de plastiques mais aussi proposer une autre solution aux matières vierges et recyclées et donc permettre de diversifier son portefeuille d'offre.

Les nouvelles réglementations en termes d'empreinte carbone ouvrent de réelles opportunités pour des industries qui sont capables de mettre sur le marché des produits à basse empreinte carbone. Ce sont des opportunités sur lesquelles certains industriels travaillent aujourd'hui ; être précurseur à ce niveau-là peut leur offrir des opportunités. Ineos Inovyn nous ont d'ailleurs assuré qu'ils étaient des précurseurs en la matière : *« Il y a 3-4 ans, nous avons remarqué qu'il y allait avoir des discussions sur les empreintes carbone des industries. Nous avons donc vu une opportunité de développer des produits durables, c'est pourquoi nous*

avons développé le produit Biovyn. Biovyn est un PVC de nouvelle génération fabriqué à partir de matières premières 100 % renouvelables ».

Pour assurer la réduction de leur empreinte carbone, les producteurs doivent tout de même faire attention à la manière de s'approvisionner en matières premières végétales. Notre deuxième intervenant de TotalEnergies n'a pas manqué de le souligner : *« produire un biopolymère n'émet pas de CO2 parce que quand la matière première pousse, c'est un puits de carbone. Par contre, en termes de consommation d'eau, c'est beaucoup moins bien qu'un autre polymère. Il faut donc s'assurer que la matière première utilisée pour faire du biopolymère est durable »*. La problématique d'approvisionnement durable est également soulignée par les professionnels d'Essencia, selon eux *« Une problématique concerne la disponibilité de biosources, dans un contexte de réduction des espaces disponibles du fait de l'intention d'étalement des espaces urbains, de l'exploitation des ressources pour l'alimentaire, de la restitution des espaces à la nature »*. Tous ces éléments doivent impérativement être pris en compte par les producteurs se lançant dans le développement de produits bio-polymères.

Il y a un défi majeur lié cette opportunité que représente le développement des biopolymères qui est de convaincre les législateurs de reconnaître ces polymères bio comme faisant partie des objectifs de recyclé. En effet, Ineos Inovyn partage cette vision des choses ; selon notre interlocuteur : *« dans ce contexte de feedstock végétaux, il y a aussi tout une question de reconnaissance pour que ces bioplastiques à bas carbone ou à empreinte carbone négative puissent être considérés comme faisant partie des objectifs de recyclage imposés pour les différentes applications. En effet, ce n'est pas tout à fait du recyclage mais cela correspond tout de même aux objectifs de réduction de l'utilisation des matières premières fossiles »*. Cette reconnaissance permettrait à coup sûr d'augmenter l'intérêt des investisseurs et donc de développer d'autant plus le marché du biopolymère en Europe.

3. La mise en place d'une consigne digitale

De plus en plus d'états réfléchissent à la mise en place d'un système de consigne digitale pour les bouteilles en plastique. Les utilisateurs pourraient scanner un QR code qui se trouverait sur l'étiquette des emballages avant de les mettre à la poubelle ; ce code leur octroierait directement une récompense. En plus d'encourager la lutte contre les déchets sauvages, ce système pourrait assurer un approvisionnement stable en matière première et une qualité

améliorée des matériaux pour le recyclage. Cette hypothèse est soutenue par la professionnelle de Plarebel : *« Les propriétaires de marques peuvent améliorer la collecte des déchets en poussant pour instaurer une consigne digitale, les clients scanneront leurs emballages avant de les jeter à la poubelle. C'est un projet de solution sur lequel Fostplus travaille actuellement ».*

4. L'émergence de certifications alternatives

Il est désormais établi que les avancées technologiques récentes, notamment dans les domaines du recyclage chimique et des biopolymères, souffrent d'un déficit de reconnaissance parmi les instances législatives. Néanmoins, il convient de noter que certains organismes existent et octroient des certifications visant à attester de la durabilité de ces initiatives. Plastics Europe nous a d'ailleurs fait remarqué l'existence d'une d'entre elles : *« Pour le moment, il n'y a pas de certification ISO mais il y a les certifications ISCC (International Sustainability and Carbon certification), c'est une entité en Allemagne. Il y a différents corps de certification qui suivent leurs standards. Partout dans le monde, il y a des installations certifiées ISCC plus, ils ne font pas seulement des certifications de recyclage chimique mais également les installations pour les polymères bio ».*

La délivrance de cette certification offre une opportunité crédible en attendant l'établissement de normes ISO, qui jouissent indéniablement d'une reconnaissance internationale plus étendue. Plastics Europe affirme que ces certifications permettent aux producteurs de susciter l'intérêt des propriétaires de marques pour le recyclage chimique : *« Magnum a fait des emballages plastiques pour ses glaces à partir de plastique recyclé chimiquement, ces emballages sont donc certifiés ISCC plus certified mass balance chemical recycling content ».*

4.4.3 Les solutions

1. Développer le recyclage chimique pour les applications alimentaires

La nouvelle réglementation 2022/1616 impose des normes très strictes en ce qui concerne les contenus recyclés utilisés dans les applications alimentaires. Comme nous l'explique Manon Marlier de Plarebel, pour l'instant, elles ne concernent que les plastiques recyclés provenant du recyclage mécanique : *« Si on revient au monomère pendant le procédé de recyclage, la technique de recyclage n'est pas sujette à la nouvelle réglementation 2022/1616 mais si la technique de recyclage ne revient pas au monomère alors, elle est sujette à la législation 2022/1616 »*. Les technologies de recyclage chimique comme la pyrolyse ou la dépolymérisation complète sortent donc du cadre de la nouvelle réglementation. Les techniques de recyclage chimique permettent d'assurer un matériau recyclé pur qui satisfait les nouveaux tests de migration de contaminant qui prouvent que l'emballage est sécurisé pour l'alimentaire. Le recyclage chimique est une solution si prometteuse que des producteurs de plastique comme TotalEnergies veulent en faire leur technique prédominante pour produire les plastiques recyclés destinés au contact alimentaire : *« Pour produire du plastique recyclé pour les emballages alimentaires, nous partons sur des solutions basées sur le recyclage chimique. Nous construisons donc pour l'instant une usine de recyclage chimique à Grandpuits pour faire des produits de base à partir de déchets plastiques »*.

Il faut tout de même garder en tête que les produits qui résultent de ces méthodes de recyclage ne sont actuellement pas reconnues comme des matériaux recyclés et donc ils ne peuvent pas contribuer aux objectifs de contenu recyclé de la réglementation PPWR. Heureusement, notre interlocutrice de Plarebel nous affirme que la lutte est en cours : *« En Belgique, il y a des groupes assez actifs qui essaient de travailler avec l'IVCIE (interregionale verpakkingscommissie) pour qu'on puisse à terme compter le plastique recyclé du recyclage chimique dans les statistiques de recyclage »*.

Pour promouvoir une adoption plus répandue du recyclage chimique, une mesure primordiale réside dans la réduction de son coût économique. Le processus de recyclage chimique se caractérise par une forte demande en énergie, rendant impérative l'intervention visant à optimiser son efficacité énergétique en vue d'une meilleure économie d'énergie. Pour ce faire, plusieurs solutions s'offrent aux producteurs de plastique. Dans cette optique, nos interlocuteurs de Plastics Europe évoquent une approche : *« une des solutions consiste à*

électrifier le vapocraqueur et à alimenter ce vapocraqueur avec de l'énergie renouvelable ».

En parallèle, Bernard Mouteau de TotalEnergie pense que : *« Il faut doter ces usines de recyclages d'infrastructures d'énergie verte tels que les panneaux solaires par exemple ».*

Selon Manon Marlier de Plarebel, une approche prometteuse réside davantage dans l'innovation: *« il est intéressant d'innover sur les catalyseurs afin de pouvoir faire la même réaction de catalyse à une température plus basse et donc consommer moins d'énergie ».*

2. Combiner adéquatement les techniques de recyclage

Les différentes solutions de recyclage ont leurs lots d'avantages et d'inconvénients. Nos intervenants sont tous unanimes pour dire que le recyclage mécanique est la solution à prioriser. En effet, elle reste en général l'alternative la plus économique (si le déchet ne doit pas subir trop de traitements) et écologique (car elle nécessite moins d'énergie que le recyclage chimique). De plus, le recyclage mécanique est celui qui est le plus développé à l'heure actuelle.

La méthode chimique doit plutôt être considérée comme complémentaire. Comme l'explique l'expert de Ineos Inovyn : *« cette technique de recyclage permet de traiter un large panel de déchets même les plus contaminés, mais elle reste moins performante écologiquement que le recyclage mécanique puisque la pyrolyse et le cracking émettent beaucoup d'émissions de carbone ».*

Combiner les deux solutions de manière adéquate semble être donc le meilleur compromis pour atteindre une circularité optimale et maximiser l'efficacité. Pour augmenter les volumes de plastiques recyclés, TotalEnergies a une stratégie : *« tous les déchets rigides collectés séparément sont envoyé vers des filières de recyclage mécanique et les déchets non recyclables mécaniquement, ceux qu'on a du mal à séparer ou à caractériser, comme les films plastiques, sont recyclés par voie chimique ».*

Essenscia affirme que : *« il y a une gradation des solutions entre le recyclage mécanique, le recyclage chimique et le recyclage physique. Il faut savoir combiner les solutions de manière adéquate ».* La meilleure solution est donc de privilégier le recyclage mécanique et aller étape par étape vers des techniques de recyclage plus énergivores.

3. Diversifier le portefeuille d'offre

Pour faire face à l'instabilité du marché, les producteurs de plastique doivent développer une résilience qui leur permettra d'absorber un maximum de chocs. La volatilité des prix et l'inconstance de la disponibilité des matières première recyclées impactent fortement les producteurs de plastique. La meilleure solution pour contrer ces variations semble claire, comme le dit bien Manon Marlier de Plarebel : *« les producteurs doivent élargir leur portefeuille d'offre au maximum pour réagir aux chocs du marché et combattre cette instabilité du marché qui limite la production du plastique recyclé »*.

Au vu des nombreuses législations qui arrivent pour favoriser le marché du recyclé, il semble évident que les producteurs de polymères diversifient leurs sources de polymères durables. Cette tendance est très bien expliquée par le témoignage de notre premier interlocuteur de TotalEnergies : *« Nous considérons que la demande globale en plastique ne va pas beaucoup bouger dans le temps, elle va même peut-être augmenter mais elle s'orientera plus vers les produits recyclés, d'où l'investissement dans de nouvelles solutions de recyclage et d'où le développement de nouveaux produits »*. Cette diversification passe donc également par des investissements conséquents dans des infrastructures de recyclage.

4. Suivre des stratégies de M&A

Pour stimuler la croissance de leur production de plastique recyclé, il est dans l'intérêt des producteurs de plastique de collaborer de manière intégrée avec la chaîne de valeur. C'est d'ailleurs un conseil que Plastics Europe donne à ses membres : *« Nous voyons de plus en plus de projets entre les producteurs et les recycleurs ; je conseille vraiment aux membres de notre organisation de passer d'un business qui est basé sur les matières fossiles à quelque chose qui est beaucoup plus intégré. Les producteurs doivent être impliqués dans le recyclage, dans le business des déchets »*.

Pour être impliqués dans le recyclage, les producteurs peuvent suivre une stratégie de M&A ; cette stratégie est beaucoup utilisée par les producteurs aujourd'hui pour avoir la main sur la chaîne d'approvisionnement et donc assurer leur réponse à la demande croissante du marché. Elle consiste à racheter des actifs déjà existants et à investir pour les faire grandir et augmenter leur production. Prenons l'exemple de TotalEnergies qui est impliqué dans de nombreux projets de fusion et acquisition : *« Lorsque nous avons racheté Synova, ils*

pouvaient produire 20 000 tonnes de recyclé, aujourd'hui Synova peut produire 40 000 tonnes ; nous avons augmenté les capacités en développant les infrastructures. Ça sera certainement pareil avec Iber Resinas. Aujourd'hui, ils produisent 30 000 tonnes de recyclé mais TotalEnergies a l'objectif d'augmenter ces capacités ».

Cette approche de coopération se révèle d'une grande pertinence en vue de tirer profit des avancées technologiques émergentes. Dans cette configuration, les acteurs industriels concluent des accords avec de jeunes start-ups prometteuses, en vue d'intégrer leurs technologies novatrices et, en retour, d'assurer le développement à grande échelle de leurs innovations. Cette stratégie repose sur un modèle gagnant-gagnant, favorisant ainsi l'essor des start-ups en devenir. De nouveau, TotalEnergies adopte cette approche en intégrant activement cette solution: *« Nous essayons de travailler avec des fournisseurs d'huile de pyrolyse. Par exemple, nous avons fait un contrat avec Honeywell. Ils gèrent le recyclage et la pyrolyse et en échange Total leur assure un achat de 10 000 tonnes de leur huile de pyrolyse qui sortira de leur usine. Nous nous engageons à acheter leur production, comme ça, chez Honeywell, ils savent qu'ils peuvent investir et se développer ».*

5. Travailler en consortium

Nous ne sommes pas sans savoir que le marché du plastique est très instable ; pour l'instant, la demande a fortement rebasculé vers le plastique vierge. Mais ce rebasculé a de fortes conséquences économiques sur les recycleurs, menaçant ainsi leur activité. Notre intervenant d'Ineos nous a d'ailleurs alertés sur cette menace : *« J'ai l'impression que les brandowners et les packaging producers ne sont pas toujours conscients que si, pour l'instant, ils ne s'engagent pas auprès des recycleurs, ceux-ci vont mettre la clé sous la porte et n'existeront plus en 2025. Les propriétaires de marques et les transformateurs auront donc un gros problème pour trouver leur matière recyclée ».*

Face à ce problème, le travail en consortium semble être une alternative à privilégier en vue des nouvelles exigences qui vont arriver en matière d'incorporation de plastique recyclé. Madame Marlier de Plarebel l'a d'ailleurs observé récemment : *« Les fournisseurs de plastique recyclé les moins touchés actuellement par la crise, ce sont ceux qui travaillent en consortium. Il y a des producteurs de plastique recyclé qui travaillent directement avec une marque de bouteilles et ils ont un engagement de fournir cette marque avec X tonnages tous*

les mois. Cela avantage le recycleur, car il s'assure déjà une demande en prévision des obligations de 2025 ».

6. Sensibiliser les consommateurs

Une des principales limites à l'essor du plastique recyclé, c'est que les consommateurs sont encore peu avertis de l'importance de changer leurs comportements.

Les producteurs de plastiques doivent certainement mener un travail de sensibilisation des consommateurs afin qu'ils pensent au geste de tri ; Bernard Mouteau de TotalEnergies n'a pas manqué de nous le rappeler: *« En tant que citoyen, nous avons un rôle très important à jouer dans cette boucle, car si le ménage aujourd'hui ne trie pas, le retour de la matière de l'objet vierge utilisé ne se fera pas et donc il n'y aura pas cette matière disponible pour faire du recyclage, nous avons donc un gros boulot à faire pour sensibiliser les consommateurs à bien trier leurs déchets »*.

Tous les acteurs du marché du recyclé ont dans leur intérêt de s'efforcer de modifier la perception des consommateurs afin d'élargir leur compréhension en matière d'acceptation. Les spécialistes du secteur de l'entreprise Essenscia ont identifié un problème majeur : *« Les consommateurs ont encore du mal à accepter des produits qui n'ont pas un packaging attrayant, ils orientent encore beaucoup trop leurs achats vers des packaging bourrés de marketing »*. Par conséquent, il est impératif de transformer leur perception, encourageant ainsi une demande orientée vers des produits plus sobres et respectueux de l'environnement.

7. Développer le recyclage physique

Le recyclage physique, bien qu'encore sous-représenté dans les discussions théoriques sur les méthodes de recyclage du plastique, mérite une attention particulière. En effet, les approches mécaniques et chimiques sont généralement privilégiées et abordées de manière prépondérante. Le recyclage physique consiste à placer le plastique dans un solvant approprié pour séparer ses constituants. Une fois dissous, le plastique peut être régénéré et réutilisé pour fabriquer de nouveaux produits.

Cette méthode de recyclage est une excellente solution quand il s'agit de traiter les additifs problématiques ou d'enlever les pigments dérangeants. C'est une solution qui est d'ailleurs largement envisagée par Ineos Inovyn : *« La technique de dissolution permet d'ôter les*

additifs en gardant la chaîne de polymères du PVC intacte. Elle permet également de séparer d'autres matières qui sont avec le PVC tels que les fibres, le métal, ...». Les experts de la chimie d'Essenscia nous expliquent plus en détail comment cela fonctionne : « les chaînes moléculaires s'ouvrent juste suffisamment pour que les substances ajoutées et les additifs puissent sortir ».

Bien que cette technique semble révolutionnaire, il faut tout de même faire attention à son impact écologique. Selon Plastics Europe : « *le recyclage physique est une bonne solution mais ils doivent faire attention à la manière dont ils purifient et dont ils gèrent ces solvants afin qu'ils ne polluent pas l'environnement* ».

4.4.5 Les fausses solutions

Au cours de nos entretiens, nous avons systématiquement interrogé nos interlocuteurs sur leur perception concernant l'éventualité de l'existence de solutions erronées, promues par certains acteurs mais révélant leur inefficacité dans la pratique. Voici ce qui ressort de leurs perceptions :

- Total Energies a dénoncé des projets qui leur semblent dépourvus de sens : « *Il commence à y avoir de plus en plus de projets pour extraire le plastique des sacs noirs. Si on commence à trier les sacs noirs, cela va inciter les gens à ne plus trier, les gens mettraient tout dans les sacs noirs et en plus, les plastiques qui les composent seraient de moins bonne qualité, car ils auront été souillés par plein d'autres choses dans ces sacs noirs*».

- Selon les constatations de Plastics Europe, une problématique croissante a émergé suite à l'interdiction des plastiques à usage unique. Ils ont indiqué que de nombreux développements de produits à base de matériaux alternatifs comportant une couche de plastique ont été observés : « *il y a maintenant des tasses de café en carton mais elles sont composées d'un mélange de carton et de plastique, c'est donc pire, car c'est un matériau multicouches qui ne peut pas être recyclé* ». En parallèle, les professionnels d'Essenscia affirment régulièrement observer « *le remplacement d'une solution plastique par une autre ayant entraîné soit une augmentation générale des impacts environnementaux, soit un déplacement des impacts.* »

- Dans le cadre du traité sur les matières plastiques des Nations Unies, certains pays ont dit qu'il fallait plafonner les productions. Luc Castin s'oppose diamétralement à ce plafonnement : « *Ce n'est pas en plafonnant et réduisant les productions qu'on résout le problème* ». Il dit plutôt qu'il faut avant tout allouer le plastique « *là où il est vraiment utile* ».

- Notre interlocuteur d'Ineos Inovyn a également attiré notre attention sur l'effet des nombreuses législations qui imposent parfois des règles qui vont de façon inévitable entraîner des coûts importants. Selon lui, « *si le législateur ne fait pas un peu attention, il pourrait aussi détruire complètement la compétitivité de l'industrie européenne* ». En effet, si les législateurs ne font pas attention en protégeant un minimum le marché européen pour ne pas qu'on importe sur le marché des produits qui ne font pas face aux mêmes règles : « *il ne faudra pas longtemps pour que tout le marché de l'industrie plastique en Europe ne soit détruit et qu'en plus, tous les produits utilisés ne soient pas durables* »

4.5 Discussion et conclusion de l'analyse

Dans la revue de la littérature, on remarque que l'Union européenne présente ses mesures comme des accélérateurs de la circularité, mais grâce à notre analyse, nous nous rendons compte qu'elles n'ont pas toujours l'effet escompté. Ces mêmes réglementations s'avèrent parfois contradictoires entre elles ou peuvent impliquer des décroissances sur le marché du recyclé.

Par ailleurs, notre analyse a révélé que les producteurs ne peuvent pas mettre en place toutes les solutions techniques dont ils disposent, car il manque une certaine reconnaissance de ces technologies par les législateurs. Ce gap législatif représente donc un obstacle à l'épanouissement d'une économie circulaire optimale. Un défi majeur des producteurs est de faire reconnaître ces technologies afin qu'ils puissent les utiliser de manière pérenne et les développer à terme.

Grâce à notre étude, nous pouvons donc conclure qu'aujourd'hui, les défis d'ordre législatif sont d'autant plus présents que ce que nous avons pu voir dans notre partie théorique. Dans la partie théorique, les défis les plus importants étaient d'ordre technique. A l'heure actuelle, il semble que les défis législatifs représentent les freins majeurs à une circularité optimale. Ceux-ci doivent absolument être gommés pour permettre au secteur de passer à une circularité de niveau supérieur.

Ensuite, notre analyse nous permet de jauger l'effet bénéfique de certaines mesures prises par l'Union européenne. Les nouveaux mandats d'incorporation de contenu recyclé ouvrent de nouvelles opportunités. Ils entraîneront inévitablement une augmentation de la demande en plastique recyclé. Afin de satisfaire cette demande croissante, des défis techniques se présentent pour les producteurs. Ceux-ci rejoignent ceux qu'on a identifiés dans la théorie, à savoir la nécessité de fournir des matières plastiques à haute performance et d'avoir un approvisionnement important en déchets à recycler. Mais notre analyse va plus loin, elle révèle la nécessité de développer des produits durables pour soutenir l'éco-conception et de prendre en compte l'âge du produit pendant la phase de recyclage.

Au niveau des solutions, certaines techniques comme le recyclage chimique nous sont présentées comme des solutions miracles dans la théorie, mais nos entretiens avec les experts ont révélé qu'il faut surtout les considérer comme des techniques complémentaires au recyclage mécanique. Nous pouvons maintenant affirmer qu'il est essentiel de garder une gradation et une complémentarité des méthodes de recyclage. Par gradation, nous entendons privilégier le recyclage mécanique aux autres solutions chimiques et physiques qui sont en général plus énergivores. Notre analyse confirme que ces techniques chimiques et physiques sont toutefois d'excellentes méthodes pour traiter les déchets plus récalcitrants et pour fournir un plastique recyclé de haute qualité, convenant aux applications les plus exigeantes.

Enfin, pour répondre à l'instabilité du marché abordée dans la théorie, notre partie analytique a démontré qu'il est crucial pour les producteurs de polymères d'augmenter leur résilience en adoptant des stratégies de développement de portefeuilles, de fusion et acquisition et de collaboration avec tous les acteurs de la chaîne. Grâce aux différentes collaborations, les producteurs de polymères peuvent avoir un contrôle plus important sur la chaîne d'approvisionnement et ils peuvent également bénéficier de technologies de niches développées par des start-ups.

5. Conclusion générale, limites et perspectives.

La revue de la littérature a mis en évidence l'importance cruciale de passer à une économie circulaire dans le secteur du plastique. Dans cette perspective, nous avons démontré que de nombreux changements devaient être opérés pour accroître la circularité de cette industrie. Nous avons également mis en lumière les facteurs qui rendent le marché du plastique recyclé si instable et incertain. Ensuite, nous avons montré que de nombreuses réglementations étaient mises en place par l'Union Européenne pour favoriser le recyclage du plastique.

Face à cette situation, les producteurs doivent relever un ensemble de défis majeurs. Il leur incombe tout d'abord de faire reconnaître les nouvelles technologies de recyclage ainsi que les méthodes qui y sont associées. Ils doivent également anticiper les futures réglementations pour répondre aux normes à venir. De plus, ils doivent développer des techniques afin de garantir un approvisionnement en polymères recyclés de qualité. Enfin, un autre défi crucial est de créer des polymères alternatifs plus durables.

Toutes ces difficultés imposent aux producteurs d'adopter une approche résiliente, une approche d'autant plus essentielle que les mandats d'incorporation ouvriront de nouvelles perspectives en augmentant la demande de plastiques recyclés.

Pour atteindre cette résilience, il est essentiel de combiner les solutions identifiées dans notre analyse. Tout d'abord, il est crucial de développer le recyclage chimique pour produire des produits recyclés destinés aux applications les plus exigeantes. Attention, il est important de combiner de manière appropriée différentes techniques de recyclage, en respectant une gradation des solutions. Ensuite, il est essentiel de diversifier autant que possible le portefeuille d'offre tout en favorisant la mise en place de consortiums et de collaborations. Aussi, il est nécessaire de sensibiliser le consommateur aux enjeux du recyclage des plastiques. Enfin, il est primordial de développer le recyclage physique pour traiter certaines caractéristiques problématiques des déchets plastiques.

En conclusion, la circularité du secteur du plastique doit se concevoir comme un ensemble de systèmes économiques et technologiques dont l'objectif serait la résilience en ressources, l'optimisation des usages des ressources et la réduction de la dépendance aux ressources vierges, le tout favorisé par une collaboration accrue entre les acteurs du secteur.

L'identification des défis, des opportunités et des solutions s'effectue au sein d'un environnement réglementaire caractérisé par un degré d'incertitude encore important. Certaines réglementations ne sont encore que des directives et d'autres sont encore en cours de discussion. Il est donc encore parfois difficile d'évaluer certaines implications qu'elles peuvent avoir de manière précise.

Par ailleurs, il est important de noter que notre analyse s'est consacrée majoritairement aux impacts des réglementations qui concernent le secteur de l'emballage, car les réglementations relatives à d'autres secteurs tels que la construction ou l'industrie automobile sont encore au tout début de leurs phase d'élaboration.

Enfin, les résultats de cette analyse sont liés à l'état actuel du marché du plastique, elles sont susceptibles d'évoluer en raison de l'instabilité intrinsèque de ce secteur.

Il serait intéressant pour une recherche ultérieure d'entreprendre une analyse d'impacts en sollicitant les perspectives des producteurs de plastiques une fois que d'autres réglementations auront été mises en place. En 2024, l'émergence du traité mondial sur le plastique représentera un événement majeur. De nombreux professionnels du secteur nous ont d'ailleurs fait part de leur curiosité à cet égard, ils s'attendent à ce que ce traité implique des changements significatifs dans leurs activités.

6. Bibliographie

ADEME. (2020). *Descriptif-schema-economie-circulaire.pdf*.

<https://normandie.ademe.fr/sites/default/files/descriptif-schema-economie-circulaire.pdf>

Ágnes, N., & Rajmund, K. (2016). The Environmental Impact of Plastic Waste Incineration. *AARMS – Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*, 15(3), Article 3.

<https://doi.org/10.32565/aarms.2016.3.3>

Alassali, A., Picuno, C., Chong, Z. K., Guo, J., Maletz, R., & Kuchta, K. (2021). Towards Higher Quality of Recycled Plastics : Limitations from the Material's Perspective. *Sustainability*, 13(23), Article 23. <https://doi.org/10.3390/su132313266>

Aurez, V., & Georgeault, L. (2019). *Economie Circulaire : Système économique et finitude des ressources*.

Balwada, J., Samaiya, S., & Mishra, R. P. (2021). *Packaging Plastic Waste Management for a Circular Economy and Identifying a better Waste Collection System using Analytical Hierarchy Process (AHP)*. 98, 270-275. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2021.01.102>

Banque Européenne d'investissement. (2019). *Politique de prêt de la BEI dans le secteur de l'énergie—Soutenir la transformation du secteur de l'énergie*.

Bernard, S., Lapointe, F., & Martin, J. (2023). *Où vont nos déchets plastiques??* [CIRANO Paper]. CIRANO. <https://econpapers.repec.org/paper/circircah/2023pj-07.htm>

Bishop, G., Styles, D., & Lens, P. N. L. (2020). Recycling of European plastic is a pathway for plastic debris in the ocean. *Environment International*, 142, 105893. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105893>

Boukezzata, A., Birouk, C., & Boubezai, M. T. (Encadreur). (2018). *Incorporation de La MicrocineJ25 dans l'emballage utilisé en industrie Agroalimentaire* [Thesis, Université de Jijel]. <http://dspace.univ-jijel.dz:8080/xmlui/handle/123456789/1620>

- Bremer, C. (2022). *La pollution plastique ne cesse de croître tandis que la gestion et le recyclage des déchets sont à la traîne, selon l'OCDE*. OCDE. <https://www.oecd.org/fr/environnement/la-pollution-plastique-ne-cesse-de-croitre-tandis-que-la-gestion-et-le-recyclage-des-dechets-sont-a-la-traine.htm>
- Bunge, R. (2019). *Recyclage des plastiques : Une fausse solution*. La Vie économique. <https://dievolkswirtschaft.ch/fr/2019/07/bunge-08-09-2019fr/>
- Chen, L.-H., Hung, P., & Ma, H. (2020). Integrating circular business models and development tools in the circular economy transition process : A firm-level framework. *Business Strategy and the Environment*, 29(5), 1887-1898. <https://doi.org/10.1002/bse.2477>
- Cirdrac, M. (2023). *Emballages et déchets d'emballages (exposé des motifs)*. Sénat. <https://www.senat.fr/leg/exposes-des-motifs/ppr22-526-expose.html>
- Collen, V. (2018). *Boom du plastique dans les pays émergents | Les Echos*. <https://www.lesechos.fr/2018/10/boom-du-plastique-dans-les-pays-emergents-979017>
- Combe, M. (2012, janvier 20). L'enfouissement des déchets est-il une solution durable ? *Natura Sciences*. <https://www.natura-sciences.com/comprendre/enfouissement-dechets.html>
- Commission Européenne. (2022a). *Pacte vert pour l'Europe : En finir avec les déchets d'emballages, encourager la réutilisation et le recyclage*. https://france.representation.ec.europa.eu/informations/pacte-vert-pour-leurope-en-finir-avec-les-dechets-demballages-encourager-la-reutilisation-et-le-2022-11-30_fr
- Commission Européenne. (2022b). *Proposal for a REGULATION OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52022PC0677>
- Commission Européenne. (2022c). *RÈGLEMENT (UE) 2022/1616 DE LA COMMISSION du 15 septembre 2022*. Journal officiel de l'Union européenne. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX%3A32022R1616>

- Conte, F., Ag, C., Dinkel, D. F., Ag, C., Kägi, T., Ag, C., & Heim, D. T. (2014). Permanent Materials. *Final Report*.
- Correia, M. (2022). *Criminels climatiques : Enquête sur les multinationales qui brûlent notre planète*. La Découverte.
- Damhuis, L., & Ruquoy, D. (2012). *FOPES / WE inter-groupe / 1er Master*.
- Daoud, W. (s. d.). *Développement d'un système de management intégré de l'éco-conception des appareillages électriques de moyenne tension*. 2009.
- De Silans, C. (2021). *Plastiques biosourcés, compostables ou biodégradables... le point sur ce flou artistique*. <https://www.castalie.com/>. <https://www.castalie.com/environnement/differences-plastique-impact/>
- Degeorge, J.-M. (2015). Méthodologie qualitative et processus : Deux frontières de la recherche en entrepreneuriat. *Revue de l'Entrepreneuriat / Review of Entrepreneurship*, 14(1), 7-13. <https://doi.org/10.3917/entre.141.0007>
- Deleuil, J.-M., Missir, Q., Châtel, L., Matias-Mendes, M., Chouteau, M., Nguyen, C., Mery, J., Turchet, T., & Papin, M. (2021). *Tarification incitative : Acteurs, modalités et obstacles RAPPORT FINAL*.
- Desvaux, P. (2017). Économie circulaire acritique et condition post-politique : Analyse de la valorisation des déchets en France. *Flux*, 108(2), 36-50. <https://doi.org/10.3917/flux1.108.0036>
- Dowd, C. (2022, juin). *Recy-systemen—Metaalrecyclingsoftware*. <https://www.amcsgroup.com/fr/articles/tendances-du-marche-mondial-des-dechets-et-du-recyclage/>
- Dumont, J. (2022). *Matériaux biosourcés : Le guide pour tout comprendre en 2023*. <https://greenly.earth/fr-fr/blog/actualites-ecologie/materiaux-biosources-le-guide-pour-tout-comprendre-en-2022>
- Duval, C. (2009). *Matières plastiques et environnement - 2e éd. : Recyclage. Biodégradabilité. Valorisation*. Dunod.

- Eurostat. (2021). *Packaging waste statistics*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Packaging_waste_statistics
- Evergreen, K. (2023, janvier 6). Les différents types de plastiques. *Choose Green Live Green*.
<https://www.choosegreenlivegreen.com/les-differents-types-de-plastiques/>
- Faure, F. (2015). *Microplastiques*. <https://core.ac.uk/download/pdf/148021411.pdf>
- Flaws, J., Damdimopoulou, P., Patisaul, H. B., Gore, A., Raetzman, L., & Vandenberg, L. N. (2020). *PLASTIQUES, SANTÉ ET PRODUITS CHIMIQUES PERTURBATEURS ENDOCRINIENS (PE)*.
- Fondation EllenMcArthur. (2019). *Circular economy principles : Eliminate waste and pollution*.
<https://ellenmacarthurfoundation.org/eliminate-waste-and-pollution>
- Fontaine, M. (2012). *Eco-conception & Emballages*. https://conseil-emballage.org/wp-content/uploads/2014/01/84_0.pdf
- Galgani, F., & Loubersac, L. (2016). Les macro-déchets en mer. *Tai Kona*, 16, 26-49.
- Geerts, M. (2023, février 6). *Pourquoi l'interdiction d'exporter compromet le recyclage des plastiques en Europe (carte blanche)*. Le Vif. <https://www.levif.be/opinions/cartes-blanches/pourquoi-linterdiction-dexporter-compromet-le-recyclage-des-plastiques-en-europe/>
- Gélinas, L. (2013). *Cufe_Gelinas_Laurent_essai365.pdf*.
https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7210/cufe_Gelinas_Laurent_essai365.pdf?sequence=1
- Glachant, M. (2020). *QUELS MECANISMES INCITATIFS POUR PROMOUVOIR LE RECYCLAGE DES PLASTIQUES ISSUS DES DECHETS D'EQUIPEMENTS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES ?* 46.
- Grabriel, T., Gammage, T., Perry, C., & Dixon, C. (2022). Achieving sustainable production and consumption of virgin plastic polymers. *Frontiers in Marine Science*, 9.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2022.981439>
- Grosso, M., Niero, M., & Rigamonti, L. (2017). Circular economy, permanent materials and limitations to recycling : Where do we stand and what is the way forward? *Waste Management and Research*, 35(8), 793-794. Scopus. <https://doi.org/10.1177/0734242X17724652>

- Gutowski, T. G., Sahni, S., Allwood, J. M., Ashby, M. F., & Worrell, E. (2013). The energy required to produce materials : Constraints on energy-intensity improvements, parameters of demand. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1986), 20120003. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0003>
- Harizi, I. (2015). *Le recyclage des polymères* [Thesis].
<http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/6145>
- Helbig, C., Huether, J., Joachimsthaler, C., Lehmann, C., Raatz, S., Thorenz, A., Faulstich, M., & Tuma, A. (2022). A terminology for downcycling. *Journal of Industrial Ecology*, 26(4), 1164-1174.
<https://doi.org/10.1111/jiec.13289>
- Intercommunale de gestion environnementale,. (2023). *Hygea*. Hygea. <https://www.hygea.be>
- Joltreau, E. (2021). *L'économie du plastique*. <http://www.bsi-economics.org/images/20210401-5.pdf>
- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank.
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>
- King, S., & Locock, K. E. S. (2022). A circular economy framework for plastics : A semi-systematic review. *Journal of Cleaner Production*, 364. Scopus.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132503>
- Kremer, I., Tomić, T., Katančić, Z., Erceg, M., Papuga, S., Vuković, J. P., & Schneider, D. R. (2021). Catalytic pyrolysis of mechanically non-recyclable waste plastics mixture : Kinetics and pyrolysis in laboratory-scale reactor. *Journal of Environmental Management*, 296, 113145.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113145>
- Kwakwa, V., & Garcia Mora, A. (2021, avril 6). *Déchets plastiques : Une menace grandissante et une occasion manquée*. <https://blogs.worldbank.org/fr/opendata/dechets-plastiques-une-menace-grandissante-et-une-occasion-manquee>
- Landrigan, P. J., Raps, H., Cropper, M., Bald, C., Brunner, M., Canonizado, E. M., Charles, D., Chiles, T. C., Donohue, M. J., Enck, J., Fenichel, P., Fleming, L. E., Ferrier-Pages, C., Fordham, R., Gozt, A.,

- Griffin, C., Hahn, M. E., Haryanto, B., Hixson, R., ... Dunlop, S. (2023). The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Annals of Global Health*, 89(1), 23.
<https://doi.org/10.5334/aogh.4056>
- Larousse, É. (2023). *Définitions : Recyclage - Dictionnaire de français Larousse*.
<https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/recyclage/67278>
- Lerolle, M. (2021). *Le lobby du plastique empoisonne le monde*. Reporterre, le média de l'écologie.
<https://reporterre.net/Le-lobby-du-plastique-empoisonne-le-monde>
- Logistics in Wallonia. (2023). *Fost Plus | Logistics in Wallonia*.
<https://www.logisticsinwallonia.be/fr/members/fost-plus/bjcf>
- M. A.V. Axelos, L. Bamière, F. Colin, J.-Y. Dourmad, M. Duru, S. Gillot, B. Kurek, J.-D. Mathias, J. Méry, M. O'Donohue, S. Recous, V. Requillart, J.-P. Steyer, A. Thomas, S. Thoyer, H. De Vries, J. Wohlfahrt. (2020). *Réflexion prospective interdisciplinaire bioéconomie—Rapport de synthèse, 70 pp*. <https://doi.org/10.15454/X30B-QD69>
- Marin, A. (2023). *Méthodes robustes en traitement d'image pour la détection et la caractérisation d'objets compacts : Application à la biologie*.
- Mathieux, F. (2004). *Contribution à l'intégration de la valorisation en fin de vie dès la conception d'un produit. Une méthode basée sur l'évaluation multicritères de la recyclabilité du produit et sur l'identification de ses points faibles de conception*.
- Mayer, N. (2021). *Incinération des déchets : Avantages et inconvénients*. Futura. <https://www.futura-sciences.com/sante/questions-reponses/sante-incineration-dechets-avantages-inconvenients-6355/>
- Moretti, A. (2023). *AMENDEMENTS 001-248 déposés par la Commission de l'environnement, de la santé publique et de la sécurité alimentaire*.
https://www.europarl.europa.eu/doceo/document/A-9-2023-0218-AM-001-248_FR.pdf

- Nait-Ali, K. L. (2008). *Le PET recyclé en emballages alimentaires : Approche expérimentale et modélisation* [Phdthesis, Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc].
<https://theses.hal.science/tel-00292038>
- Olivier, A. (2023, juin 2). *Déchets : Qu'est-ce que la directive sur les plastiques à usage unique ?*
Touteurope.eu. <https://www.touteurope.eu/environnement/dechets-qu-est-ce-que-la-directive-sur-les-plastiques-a-usage-unique/>
- Organisation internationale de normalisation. (2019). *ISO 14021:2016(fr), Marquage et déclarations environnementaux—Autodéclarations environnementales (Étiquetage de type II)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/fr/#iso:std:iso:14021:ed-2:v1:fr>
- Paletta, A., Leal Filho, W., Balogun, A.-L., Foschi, E., & Bonoli, A. (2019). Barriers and challenges to plastics valorisation in the context of a circular economy : Case studies from Italy. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118149>
- Paprec Group. (2023). La fabrication du plastique—Comprendre le recyclage | Paprec Group. *Paprec*.
<https://www.paprec.com/fr/comprendre-le-recyclage/tout-savoir-sur-les-matieres-recyclables/plastiques/la-fabrication-du-plastique-l-extraction-des-matieres-premieres/>
- Parlement Européen. (2019). *Directive (UE) 2019/ du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique sur l'environnement*.
- Parlement Européen. (2018). *Microplastiques : Sources, impact et solutions*.
https://www.europarl.europa.eu/pdfs/news/expert/2018/11/story/20181116STO19217/20181116STO19217_fr.pdf
- Parlement européen. (2018, décembre 19). *Déchets plastiques et recyclage dans l'UE : Faits et chiffres (infographie) | Actualité | Parlement européen*.
<https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/society/20181212STO21610/dechets-plastiques-et-recyclage-dans-l-ue-faits-et-chiffres-infographie>
- Parlement européen. (2023, mai 24). *Économie circulaire : Définition, importance et bénéfices | Actualité | Parlement européen*.

- <https://www.europarl.europa.eu/news/fr/headlines/economy/20151201STO05603/economie-circulaire-definition-importance-et-benefices>
- Pivnenko, K., Eriksen, M. K., Martín-Fernández, J. A., Eriksson, E., & Astrup, T. F. (2016). Recycling of plastic waste : Presence of phthalates in plastics from households and industry. *Waste Management*, 54, 44-52. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.05.014>
- Plastics Europe. (2023). *Plastics – the Facts 2022*. https://plasticseurope.org/fr/wp-content/uploads/sites/2/2023/02/PE-PLASTICS-THE-FACTS_FINAL_DIGITAL-1.pdf
- PNUE. (2021). *The SeaCleaners / La dégradation tragique des matériaux plastiques*. The SeaCleaners. <https://www.theseacleaners.org/fr/veille%2520scientifique/la-degradation-tragique-des-materiaux-plastiques/>
- Rémy, E. (2014). *LES PLASTIQUES BIOSOURCÉS PRÉSENTENT-ILS MOINS D'IMPACTS NÉGATIFS POUR L'ENVIRONNEMENT QUE LES PLASTIQUES ISSUS DE LA PÉTROCHIMIE?* https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7418/cufe_Remy_E__2014-04-03_essai396.pdf?sequence=1
- Ren, X. (2003). Biodegradable plastics : A solution or a challenge? *Journal of Cleaner Production*, 11(1), 27-40. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(02\)00020-3](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(02)00020-3)
- Richel, A. (2021). Plastiques et bioplastiques : Retour sur 200 ans d'histoire de recherche et développement. *www.chem4us.be*. <https://orbi.uliege.be/handle/2268/265693>
- Rodrigues, R. (2021). Comment évaluer la recyclabilité de mon produit plastique en fin de vie ? *IPC, Centre Technique Industriel de la Plasturgie et des Composites*. <https://ct-ipc.com/blog-ipc/comment-evaluer-la-recyclabilite-de-mon-produit-plastique-en-fin-de-vie/>
- Roosens, J. (2019). *Les politiques de développement durable pour les producteurs de matières plastiques en Europe*. J Roosens, V Swaen - 2019 - dial.uclouvain.be
- Royer, C. (2015). *La recherche qualitative*. [http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero34\(1\)/rq-34-1-numero-complet\(1\).pdf](http://www.recherche-qualitative.qc.ca/documents/files/revue/edition_reguliere/numero34(1)/rq-34-1-numero-complet(1).pdf)

- Senninger, T. (1998). *Catalyse de Polymerisation*. Ed. Techniques Ingénieur.
- Service publique fédéral. (2019). *Pacte vert*. Klimaat | Climat. <https://climat.be/politique-climatique/europeenne/pacte-vert>
- Sicaï, A. (2022, février 22). *La diffusion massive de plastique dans le monde illustre les limites de l'économie circulaire*. Actu-Environnement; Actu-environnement. <https://www.actu-environnement.com/ae/news/plastiques-monde-economie-circulaire-ocde-rapport-39149.php4>
- Simon, F. (2018, avril 10). *Les emballages alimentaires snobent le plastique recyclé*. www.euractiv.fr. <https://www.euractiv.fr/section/energie-climat/news/safety-first-food-packers-shun-recycled-plastics-for-now/>
- Sin, L. T. (2012). *Polylactic Acid : PLA Biopolymer Technology and Applications*. William Andrew.
- Systemiq. (2020). *BreakingThePlasticWave_MainReport.pdf*. https://www.systemiq.earth/wp-content/uploads/2020/07/BreakingThePlasticWave_MainReport.pdf
- Tadmourt, W. (2016). *Etude des différents modes d'élimination des déchets plastiques* [Thesis]. <http://repository.enp.edu.dz/jspui/handle/123456789/6059>
- Talbott, T. C., Chandran, P., & Allen, C. (2022). *La Responsabilité élargie des producteurs (REP) et les récupératrice-eur-s de matériaux*.
- Thonart, P., & Diabaté, S. I. (2006). *Guide pratique sur la gestion des déchets ménagers et des sites d'enfouissement technique dans les pays du Sud*.
- Tout savoir sur le recyclage du plastique*. (2023). IFPEN. <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/tout-savoir-recyclage-du-plastique>
- UNCTADstat. (2023). *Beyond 20/20 WDS - Affichage de tableau—Commerce mondial des plastiques, annuel*. UNCTAD stat. <https://unctadstat.unctad.org/wds/TableViewer/tableView.aspx?ReportId=225371>

- Union des transformateurs de polymères. (2023). *Recyclage chimique : Où en sommes-nous ?* | Polyvia. Recyclage chimique : où en sommes-nous ? | Polyvia.
<https://www.polyvia.fr/fr/recyclage-chimique-ou-en-sommes-nous-definition-tendance>
- United Nations Environment Programme. (2023). *Turning off the Tap : How the World can End Plastic Pollution and Create a Circular Economy*. United Nations Environment Programme.
<https://doi.org/10.59117/20.500.11822/42277>
- Valipac. (2023). *Destinations des déchets plastique*. <https://www.valipac.be/ou-sont-traites-nos-dechets-demballages-industriels-en-plastique/>
- Wallonie environnement. (2019). *Fiche_enjeux1_globaux.pdf*.
http://environnement.wallonie.be/OH/zerodechet/fiche_enjeux1_globaux.pdf
- Wei, B. (2023). *Accord de l'ONU sur le plastique : Le futur traité est voué à l'échec sans réduction réelle de la production de plastique*. Greenpeace Canada.
<https://www.greenpeace.org/canada/fr/communique-de-presse/59444/accord-de-lonu-sur-le-plastique-le-futur-traite-est-voue-a-lechec-sans-reduction-reelle-de-la-production-de-plastique/>
- WWF. (2019). *L'être humain ingère 5 grammes de plastique par semaine soit l'équivalent d'une carte de crédit selon une étude du WWF*. WWF Belgique. <https://wwf.be/fr/communiqués-de-presse/letre-humain-ingere-5-grammes-de-plastique-par-semaine-soit-lequivalent-dune>