



N° 1453 ASSEMBLÉE NATIONALE – N° 808 SÉNAT

Résumé

- Les déchets plastiques sont globalement faiblement recyclés car leur recyclage se heurte, quelle que soit la technologie utilisée, à des limites techniques, sanitaires et structurelles. L'économie du plastique reste donc très linéaire, contrairement au discours ambiant faisant croire à sa circularité grâce au recyclage.
- Face à la multiplication des projets de recyclage chimique et compte tenu des incertitudes sur leur impact environnemental et leur capacité à apporter une réponse à la multiplication des plastiques à usage unique, les pouvoirs publics doivent veiller à ce que les conditions d'utilisation de cette technologie n'apportent pas plus d'inconvénients que de bénéfices.
- Les filières à responsabilité élargie des producteurs sont devenues des acteurs incontournables de la gestion des déchets plastiques et donc de leur recyclage. Néanmoins, le suivi et le contrôle des éco-organismes doivent être renforcés afin de s'assurer qu'ils agissent efficacement en faveur d'une économie plus circulaire et que le recyclage s'inscrive bien dans une stratégie de réduction globale de la production de plastiques, au lieu de s'y substituer.

Philippe Bolo, député

Angèle Prévile, sénatrice

■ Les caractéristiques du recyclage des plastiques

Une définition législative très générale qui mériterait d'être précisée

L'article L. 541-1-1 du code de l'environnement¹ définit le recyclage comme « toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage ». Cette définition générique, valable pour l'ensemble des déchets, fait référence à deux types de recyclage² sans les distinguer :

- le recyclage en boucle fermée : les déchets recyclés peuvent être utilisés pour un usage et une destination identiques, sans perte fonctionnelle majeure des propriétés de la matière (c'est le cas du recyclage d'une bouteille en PET³ en une nouvelle bouteille en PET) ;
- le recyclage en boucle ouverte : les propriétés du déchet recyclé ont été dégradées pendant le processus de recyclage. La matière recyclée est utilisée pour une destination différente, qui nécessite un plastique de moindre qualité (c'est le cas du recyclage d'une bouteille PET pour des applications textiles).

Les deux grandes techniques de recyclage

✓ Le recyclage mécanique

99 % des plastiques recyclés font actuellement l'objet d'un recyclage dit « mécanique » : après avoir été collectés et triés

pour obtenir des gisements par famille de polymères « homogènes », ces derniers sont broyés⁴, lavés⁵, retriés⁶, extrudés⁷ puis transformés en granulés pour être réutilisés sous la forme de matière première recyclée, sans que soit modifiée la structure du polymère⁸. Le recyclage mécanique est appelé recyclage primaire lorsqu'il traite les déchets post-industriels⁹ et recyclage secondaire lorsqu'il recycle les déchets post-consommation.

✓ Le recyclage chimique

Le recyclage chimique englobe toute technologie de retraitement utilisant des agents ou des procédés chimiques qui affectent directement le plastique ou le polymère lui-même¹⁰. La structure chimique des plastiques est modifiée. On distingue schématiquement¹¹ trois grandes catégories de technologies :

- la purification à l'aide de solvants¹² : elle vise à séparer de façon sélective les matrices polymères des autres matériaux (notamment dans le cas de mélange de polymères ou formulations) et des substances chimiques (additifs, pigments, substances non intentionnellement ajoutées, etc.). Les déchets plastiques sont plongés dans un bain de solvant qui dissout le polymère ciblé, le séparant des autres composants. Une fois le procédé de purification achevé, le polymère est exposé à une solution non-solvante (procédé de précipitation) pour être solidifié¹³ ;
- la dépolymérisation : elle consiste à rompre la chaîne moléculaire d'un polymère afin de le faire retourner à l'état de monomère. Une fois que la dépolymérisation a eu lieu,

les monomères sont récupérés en vue d'être purifiés par distillation, précipitation ou cristallisation¹⁴ ;

- la conversion (ou dépolymérisation thermique) : la pyrolyse¹⁵ et la gazéification¹⁶ transforment les plastiques et la plupart de leurs additifs et contaminants en produits chimiques de base¹⁷. Ces technologies reposent sur le chauffage des matières plastiques en l'absence totale ou partielle d'oxygène. Dans les deux cas, les molécules issues de ces processus de traitement ne peuvent pas être converties directement en polymères, mais doivent être utilisées comme matières premières dans un processus de raffinage-conversion-polymérisation¹⁸.

Actuellement, la filière mondiale du recyclage chimique est toujours en phase de test, même si le potentiel d'investissement est fort, surtout en Europe¹⁹.

Les avantages attendus du recyclage des plastiques

Le recyclage est censé limiter les émissions de CO₂ et économiser de l'énergie. Actuellement, 98,5 % du plastique est d'origine fossile²⁰ et cette industrie représente 10,7 % de la consommation de pétrole²¹. En 2018, les émissions totales de gaz à effet de serre causées par le plastique dans l'Union européenne étaient estimées à 208 millions de tonnes d'équivalent CO₂, dont 63 % au cours de sa production, 22 % lors de la transformation des polymères en produits et 15 % à l'occasion du traitement des déchets plastiques en fin de vie²². Au niveau mondial, l'empreinte carbone du plastique s'élevait à 1,8 Gt de CO₂ en 2019²³.

Une étude réalisée en 2017²⁴ sur les émissions de CO₂ et les économies en énergie liées au recyclage a montré qu'une tonne de PET recyclé permet d'économiser 70 % de gaz à effet de serre et 83 % d'énergie par rapport à la production d'une tonne de résine vierge. L'économie de gaz à effet de serre et d'énergie atteint 89 % pour le recyclage d'une tonne de PEHD²⁵.

Le recyclage permettrait également de réduire notre dépendance vis-à-vis des importations d'énergies fossiles et de matières premières (telles que le polyester pour les textiles²⁶ ou le caoutchouc naturel pour les pneus).

En revanche, la contribution du recyclage à la lutte contre les déchets et la pollution plastique est plus mitigée : s'agissant de la production de déchets, la proportion de recyclage en boucle ouverte ainsi que la limite physique à laquelle se heurte le nombre de cycles de recyclage font de ce dernier un amortisseur temporel de la formation de déchets, sans permettre de les éviter²⁷. Quant à la pollution plastique, elle ne se limite pas à la fin de vie des plastiques, mais concerne tous les stades de leur chaîne de vie (production, usage, fin de vie)²⁸.

■ Une réalité du recyclage des plastiques très éloignée de l'économie circulaire

Des flux de déchets plastiques globalement peu recyclés

Les chiffres sur le recyclage des plastiques varient selon les secteurs d'activité²⁹, les pays³⁰ et les méthodologies utilisées³¹.

En outre, tout produit plastique théoriquement recyclable n'est pas forcément recyclé et le taux de recyclage réel dépend de nombreux paramètres : caractéristiques du produit plastique en lui-même (taille, forme, composition), capacité à être collecté et orienté vers un centre de tri, capacité de ce centre à trier

correctement ledit produit, existence d'une filière de recyclage³².

Selon l'OCDE, en 2019, seuls 15 % des déchets plastiques étaient collectés au niveau mondial et 9 % recyclés³³. En France, sur les 6,45 millions de tonnes de plastiques consommées en 2020, 3,76 millions de tonnes seraient devenues des déchets. 929 000 tonnes ont été préparées pour le recyclage (soit 24,7 % des déchets), 690 000 tonnes ont été recyclées au niveau national³⁴ (soit 18,3 % des déchets) pour obtenir 440 000 tonnes de matières premières recyclées (soit 11,7 % des déchets)³⁵. Le processus de recyclage s'accompagne ainsi de plus de 36 % de pertes.

En outre, le recyclage se fait principalement en boucle ouverte, notamment dans le secteur des emballages (soit 39,1 % du plastique consommé en Europe)³⁶. Même les bouteilles en PET ne sont recyclées qu'à 17 % (en masse) en de nouvelles bouteilles en Europe, le reste étant recyclé en textiles et barquettes³⁷.

Un taux d'incorporation de plastiques recyclés post-consommation très faible

En 2021, sur les 390,7 millions de tonnes de plastiques produites³⁸ au niveau mondial, seuls 8,3 % provenaient de plastiques recyclés³⁹. En outre, alors que les emballages représentent 39,1 % des plastiques consommés en Europe, ils ne contiennent que 8,5 % de plastiques recyclés⁴⁰.

Des obstacles persistants au recyclage effectif des plastiques en dépit des efforts entrepris

✓ Des obstacles à la fois techniques, sanitaires, économiques et structurels

Les obstacles techniques sont de plusieurs ordres⁴¹. D'abord, tous les plastiques ne se recyclent pas⁴². En outre, la plupart des thermoplastiques ne sont pas miscibles⁴³ (alors que les plastiques se caractérisent par une grande variété de polymères et qu'il existe de nombreuses formulations pour un même polymère⁴⁴ et ⁴⁵). Plus généralement, l'utilisation des plastiques, leur vieillissement et leur stockage en fin de vie entraînent une dégradation de leurs propriétés⁴⁶. De surcroît, les conditions thermomécaniques du processus de recyclage vont encore accentuer cette dégradation.

Les obstacles au recyclage mécanique sont également réglementaires. Parmi les composants chimiques additionnés aux polymères figurent des substances chimiques dangereuses (comme les perturbateurs endocriniens ou les retardateurs de flamme bromés⁴⁷) et des « substances héritées »⁴⁸ (comme les stabilisants au plomb⁴⁹). Par ailleurs, l'aptitude au contact alimentaire nécessite un plastique qui répond à des exigences réglementaires garantissant l'absence de risque de toxicité induite au contact des aliments ou des boissons. Actuellement, seul le r-PET bénéficie de ce grade⁵⁰ au niveau de l'Union européenne⁵¹. Le recyclage des autres résines utilisées pour les emballages plastiques se fait donc en boucle ouverte.

Le recyclage est également confronté à des obstacles économiques⁵². Le prix des plastiques vierges n'est pas suffisamment élevé pour inciter à l'utilisation de la matière recyclée tandis que cette dernière continue à susciter des réserves chez certains donneurs d'ordre⁵³.

Parallèlement, la disponibilité⁵⁴ et la qualité⁵⁵ des gisements de plastique recyclable ainsi que l'existence d'usines de recyclage en nombre suffisant restent des enjeux structurels majeurs pour le développement du recyclage.

✓ **Des efforts entrepris pour assurer la recyclabilité des plastiques**

La législation a fixé des objectifs de recyclage et d'incorporation de matières premières recyclées (MPR) aussi bien au niveau européen qu'au niveau national pour inciter l'économie des matières plastiques à être plus circulaire⁵⁶. Parallèlement, des mesures ont été prises pour renforcer la collecte, le tri⁵⁷ et le recyclage, à travers l'extension de la consigne de tri⁵⁸, la mise en place d'une redevance incitative⁵⁹ et l'obligation de tri à la source des biodéchets⁶⁰. Ces dispositions impliquent des efforts financiers significatifs pour les collectivités territoriales⁶¹ qui, dans certains cas avec le soutien de l'Etat⁶² et des éco-organismes⁶³, ont investi massivement⁶⁴ dans les infrastructures de collecte (poubelles, camions) et de tri (centres de tri⁶⁵, déchèteries). Le nombre de filières à responsabilité élargie des producteurs (REP) a fortement progressé afin d'assurer la prévention et la gestion des déchets⁶⁶. La recyclabilité des déchets plastiques fait l'objet de nombreux projets de recherche aussi bien au niveau national⁶⁷ (notamment au travers du PEPR recyclabilité, recyclage et réincorporation des matériaux recyclés) qu'europpéen⁶⁸ et les progrès réalisés pour favoriser un recyclage mécanique de haute qualité, voire en boucle fermée, doivent être soulignés. En revanche, l'écoconception reste insuffisamment développée en dépit des mécanismes incitatifs et prescriptifs mis en place par les éco-organismes et les pouvoirs publics⁶⁹.

Une trajectoire du recyclage incapable de faire face à la forte croissance de la production de plastiques

Selon l'OCDE, la production de déchets plastiques au niveau mondial devrait tripler entre 2019 et 2060, en passant de 353 millions de tonnes à 1 041 millions de tonnes⁷⁰. En dépit de sa progression (17 %)⁷¹, le recyclage devrait toujours représenter une part plus faible de la gestion des déchets que l'incinération (18 %)⁷² et surtout que l'enfouissement (50 %)⁷³, tandis que 15 % des déchets plastiques seront toujours mal gérés (soit 153 millions de tonnes). Par conséquent, les fuites de déchets plastiques dans l'environnement devraient doubler d'ici 2060 (44 millions de tonnes contre 22 millions de tonnes en 2019) et l'accumulation de plastiques dans les milieux aquatiques devrait tripler pour atteindre 493 millions de tonnes en 2060 (contre 140 millions de tonnes en 2019). Les impacts environnementaux et sanitaires de la pollution plastique⁷⁴ devraient donc s'aggraver considérablement.

■ **Pour un recyclage efficace dans une perspective de réduction globale de la consommation de plastiques**

Les pièges à éviter

✓ **L'inversion de la hiérarchie de la gestion des déchets**

L'économie des ressources passe par le respect de la hiérarchie des modes de traitement des déchets : donner la priorité à la prévention et à la réduction des déchets, développer le réemploi, la réutilisation et la réparation puis inciter au recyclage⁷⁵. Pourtant, dans les faits, les schémas circulaires

présentant le recyclage donnent l'illusion qu'il pourrait, à lui seul, assurer la circularité de l'économie des plastiques⁷⁶. Une telle vision présente un double risque : celui de participer à la normalisation des déchets⁷⁷, mais aussi celui de dissimuler les alternatives à la consommation de plastiques, en faisant croire qu'il est possible de contrôler les déchets⁷⁸. Les discours très volontaristes sur le recyclage chimique, censé recycler les déchets plastiques contaminés et hétérogènes que le recyclage mécanique ne peut pas traiter, donnent l'impression de pouvoir « boucler la boucle » alors que ces technologies sont loin d'avoir démontré leurs capacités à recycler tous les plastiques à un coût financier, énergétique et environnemental acceptable⁷⁹.

✓ **Tout miser sur les solutions technologiques**

Afin de faire face à des plastiques très hétérogènes, les techniques de tri⁸⁰ et de recyclage⁸¹ se sont considérablement perfectionnées, entraînant des dépenses croissantes pour les collectivités territoriales⁸². L'Europe compte 44 projets de recyclage chimique dans 13 pays, dont 13 projets uniquement pour la France. Néanmoins, l'efficacité de cette course technologique restera limitée sans une action forte sur les deux autres leviers d'amélioration du taux de recyclage que sont la recyclabilité⁸³ et le tri des déchets⁸⁴. Enfin, les problématiques du recyclage doivent être considérées de manière globale (de l'étape de collecte à la valorisation finale du produit).

✓ **Un contrôle insuffisant des éco-organismes**

Les éco-organismes sont devenus incontournables dans le fonctionnement des filières à responsabilité élargie des producteurs compte tenu de leur implication financière dans la collecte et le tri des déchets⁸⁵. Néanmoins, alors qu'ils ont pour mission de réduire l'impact environnemental des produits de la filière qu'ils gèrent, leurs actionnaires sont les metteurs sur le marché desdits produits, ce qui peut affaiblir l'efficacité des éco-organismes⁸⁶, voire entraîner des décisions sous-optimales⁸⁷, en dépit des dispositions récentes prises dans la loi AGECE pour impliquer davantage les éco-organismes dans le réemploi des produits et la réduction des déchets⁸⁸. Par ailleurs, l'institution de monopoles⁸⁹ au profit des éco-organismes⁹⁰ donne à ces derniers une influence décisive sur les orientations stratégiques en matière de recyclage⁹¹ qui mériteraient d'être encadrées en étroite concertation avec les autres parties prenantes⁹², dont les collectivités territoriales et le Parlement.

✓ **Le développement du recyclage chimique au détriment du recyclage mécanique**

Le recyclage chimique regroupe des techniques variées, encore peu utilisées au niveau industriel et qui soulèvent de nombreuses interrogations⁹³, qu'il s'agisse de leur impact environnemental⁹⁴, de l'élimination des substances chimiques toxiques⁹⁵, de leur contribution à l'économie circulaire⁹⁶ et de la traçabilité des produits issus de ces technologies⁹⁷. Le recyclage chimique est également soumis aux mêmes contraintes de tri⁹⁸ et d'accès aux gisements que le recyclage mécanique⁹⁹ et son efficacité est également liée à l'écoconception¹⁰⁰. Le recyclage chimique est considéré comme complémentaire au recyclage mécanique pour les déchets qui ne peuvent pas être traités par voie mécanique ou atteindre le niveau de qualité demandé par le marché ou exigé par la réglementation¹⁰¹. Toutefois, certaines décisions récentes

laissent planer un doute sur la mise en œuvre de cette complémentarité¹⁰². Il convient donc de s'assurer qu'à qualité de matière recyclée égale, le recyclage mécanique soit privilégié. En effet, même si plusieurs études estiment que le développement du recyclage chimique sera indispensable pour améliorer les taux de recyclage et satisfaire les exigences croissantes en matière d'incorporation de matière recyclée¹⁰³, les effets « verrou » et « rebond » que fait courir le recyclage chimique ne doivent pas être sous-estimés¹⁰⁴. En outre, les méthodes de calcul des analyses du cycle de vie doivent être améliorées alors que ces dernières devraient être systématiquement réalisées pour s'assurer que la solution de recyclage envisagée ne soit pas pire que le déchet¹⁰⁵.

✓ La mise en place d'une consigne recyclage sur les bouteilles en PET

Les performances de la France en matière de collecte des bouteilles plastiques pour boisson et de recyclage des emballages ménagers ne permettent pas d'atteindre les objectifs fixés au niveau de l'Union européenne¹⁰⁶. Fort des exemples étrangers¹⁰⁷, l'article 66 de la loi AGECE a prévu un débat sur la mise en place de dispositifs de consigne pour recyclage et réemploi en 2023. La mise en place d'une consigne recyclage sur les bouteilles en PET présente cependant plusieurs inconvénients, au-delà de la confusion qu'elle pourrait créer dans la population¹⁰⁸. Au plan économique, elle remettrait en cause l'équilibre financier des collectivités territoriales, notamment celui des plus vertueuses¹⁰⁹ et se traduirait par une captation par le secteur privé des déchets ayant le plus de valeur tandis que les collectivités territoriales gèreraient les déchets les plus difficiles à valoriser¹¹⁰. Au plan environnemental, la consigne pour recyclage tend à banaliser l'utilisation de bouteilles plastiques pour boisson alors même que la France s'est fixé un objectif de réduction de 50 % de la mise sur le marché desdites bouteilles d'ici 2030 par rapport à 2018¹¹¹.

Les leviers pour améliorer les taux de recyclage et favoriser le recyclage de haute qualité

- **Inscrire le recyclage dans une stratégie globale de réduction de la production de plastiques** : le recyclage ne peut pas, à lui seul, garantir la mise en place d'une économie circulaire des plastiques ni permettre à l'industrie plastique d'atteindre la neutralité carbone en 2050. Il doit s'intégrer dans une stratégie plus large visant à réduire notre consommation de plastiques¹¹².
- **Améliorer la recyclabilité des plastiques à travers la prise en compte de leur recyclage dès leur conception** : de nombreux outils pour évaluer la recyclabilité des emballages ont été développés aussi bien au niveau national qu'europpéen¹¹³. Il convient désormais de les faire appliquer en rendant la mise sur le marché de produits non recyclables réellement dissuasive¹¹⁴. L'objectif est de limiter le nombre de résines et de couleurs, de standardiser les emballages et d'éliminer les perturbateurs pour renforcer l'efficacité du recyclage mécanique¹¹⁵ tout en contenant les coûts.
- **Augmenter les performances de la collecte** : avant de se lancer dans un dispositif national de consigne pour recyclage¹¹⁶, de nombreux leviers d'action existent aussi bien en amont (à travers la mise en œuvre effective de la stratégie 3R)¹¹⁷ qu'en aval (à travers l'amélioration de la

performance des collectes sélectives, l'accélération du déploiement de la tarification incitative¹¹⁸ et une meilleure captation des gisements « hors foyer »¹¹⁹). Au-delà du secteur des emballages, d'autres secteurs doivent également améliorer leurs performances en matière de collecte¹²⁰.

- **Donner la priorité au recyclage mécanique par rapport au recyclage chimique dans les appels d'offres tout en privilégiant un recyclage de haute qualité** : en dépit des discours rassurants sur la complémentarité entre les deux techniques de recyclage, il existe un risque réel de voir le recyclage chimique se développer au détriment du recyclage mécanique sous prétexte que les matières issues de ce dernier seraient de moindre qualité. En réalité, un tri et une préparation de qualité des matières à recycler permettent très souvent un recyclage mécanique en boucle fermée à des coûts moins élevés et avec un bilan environnemental plus favorable qu'avec le recyclage chimique. En outre, le renforcement indispensable des règles en matière de recyclabilité devrait faciliter le recyclage mécanique par le développement de flux plus homogènes et la simplification des plastiques. Ce n'est qu'à cette condition que le recyclage chimique sera réellement complémentaire, et non pas concurrent, du recyclage mécanique¹²¹.
- **Clarifier les règles de conversion¹²² et d'allocation¹²³ du recyclage par dépolymérisation thermique** : selon l'assiette de sortants pris en compte, le facteur de conversion est plus ou moins important. Pour des questions de transparence, le facteur de conversion doit tenir compte des différents éléments de nature à réduire la quantité des matériaux sur lesquels peuvent être affectés les crédits (pertes dans les déchets, conversion des intrants sous forme énergétique) et seuls les sortants destinés à des applications matières doivent être pris en compte. Par ailleurs, le calcul du bilan massique par la méthode des crédits, largement défendue par les industriels, peut entraîner un fort découplage entre la réalité physique du contenu en matière recyclée et la revendication d'un certain taux de matière recyclée. Cette méthode ne peut donc pas être retenue pour quantifier le contenu recyclé.
- **Étendre les obligations d'incorporation de matières plastiques recyclées à tous les secteurs d'activité** : le recyclage ne pourra se développer que s'il existe une demande forte en matières recyclées. La réglementation peut jouer un rôle déterminant, comme l'illustre la forte croissance de la demande en PET recyclé à la suite des obligations d'incorporation adoptées au niveau européen. Parallèlement, des pénalités doivent être introduites pour non atteinte des obligations de contenu recyclé¹²⁴.
- **Introduire la notion de recyclage « réel » avec des seuils minimums de collecte et de taux de recyclage¹²⁵** afin d'accélérer la mise en place de filières effectives de recyclage.
- **Poursuivre et consolider les travaux de recherche sur les impacts environnementaux et sanitaires du recyclage mécanique et chimique¹²⁶**.

Sites Internet de l'Office :

<http://www.assemblee-nationale.fr/commissions/opecest-index.asp>

<http://www.senat.fr/opecest>

Références

- ¹ Cet article résulte de la transposition de la directive 2008/98/CE du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 relative aux déchets et abrogeant certaines directives.
- ² Cf. Green Chemistry. Cutting-edge research for a greener sustainable future. Volume 24. Number 23. 7 December 2022.
- ³ Polyéthylène téréphtalate.
- ⁴ Les plastiques sont découpés pour être transformés en paillettes.
- ⁵ Ce processus vise à débarrasser les paillettes des contaminants (colle, étiquettes, etc.) et des éventuels contaminants et odeurs.
- ⁶ En exploitant les technologies basées sur les différences de densité.
- ⁷ La matière passe au travers de filtres pour éliminer les dernières impuretés. Elle est placée dans une extrudeuse (fourreau chauffant équipé d'une vis d'Archimède dite aussi sans fin) pour plastifier la matière à l'état fondu. La matière fondue est récupérée sous forme de joncs de plastique, elle est coupée et refroidie dans l'eau ou à l'air puis découpée pour former des granulés. La matière est alors stockée dans des big bags.
- ⁸ Cf. Ifpen <https://www.ifpenergiesnouvelles.fr/enjeux-et-prospective/decryptages/climat-environnement-et-economie-circulaire/tout-savoir-recyclage-du-plastique>
- ⁹ Déchets générés dans l'usine au terme des processus de production (produits défectueux, chutes de production, etc.).
- ¹⁰ Cf. Crippa et al (2019). A circular economy for plastics – Insight from research and innovation to inform policy and funding decisions (M. De Smet & M. Linder, Eds). European Commission, Brussels, Belgium.
- ¹¹ Cf. Mapping of advanced recycling technologies for plastic waste – providers, technologies, and partnership. Nova-Institute. 2022. Ce rapport présente 103 technologies avancées de recyclage en développement ou déjà sur le marché.
- ¹² Cf. Polyvia. Recyclage chimique : où en sommes-nous ? Edition 2022. <https://www.polyvia.fr/fr/recyclage-chimique-ou-en-sommes-nous-definition-tendance>
- ¹³ Le polymère obtenu a une qualité proche des polymères vierges et peut être utilisé pour des applications de haute performance. Les matières ciblées sont les polyoléfines (polyéthylène et polypropylène), le polychlorure de vinyle et les matières styréniques. La purification à l'aide de solvant présente certaines limites. La pureté du polymère final peut être compromise par des contaminants résiduels qui n'auront pas été éliminés par le solvant. En outre, dans la mesure où ce procédé ne modifie pas la structure chimique du polymère, les différences de qualité liées au mélange de polymères de différents grades à l'entrée du processus sont maintenues. En outre, comme toute transformation mécanique d'une résine pour former un objet en plastique (par extrusion ou à travers le moulage par soufflage) entraîne des contraintes physiques et thermiques qui diminuent la longueur moyenne des chaînes de polymères, la dissolution par solvant n'est pas une méthode de recyclage « perpétuel » pour les plastiques.
- ¹⁴ Cf. Sophie Duquesne. Le recyclage des matériaux plastiques. L'actualité chimique. N° 456-457-458. Novembre–Décembre-Janvier 2020-2021. Il existe plusieurs sortes de dépolymérisation. La dépolymérisation chimique (ou solvolysé) est basée sur l'utilisation d'un solvant, jouant également le rôle de réactif. En fonction du solvant, différentes classes de solvolysé peuvent être distinguées : l'hydrolyse (réaction avec de l'eau), la méthanolyse (réaction avec du méthanol), la glycolyse (réaction avec du glycol), etc... La dépolymérisation enzymatique (ou dépolymérisation biologique) vise à briser les chaînes polymères à l'aide d'enzymes. La société Carbios, en coopération avec le Toulouse Biotechnology Institute, a montré la faisabilité d'un recyclage en boucle fermée des déchets de PET en utilisant ce procédé. La dépolymérisation s'applique principalement aux polymères issus de polycondensation, en particulier le polyéthylène téréphtalate (PET).
- ¹⁵ Cf. Ademe. <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-l'action/valorisation-energetique/dossier/pyrolyse-gazeification/principes-pyrolyse-gazeification>. La pyrolyse consiste à chauffer les déchets plastiques à des températures généralement comprises entre 350 et 650°C en l'absence totale ou partielle d'oxygène. Il en résulte la production d'un gaz combustible, d'un liquide (huile ou mélanges d'hydrocarbures) qui contient des composés chimiques d'intérêt (benzène, toluène, xylènes) pouvant être valorisés en chimie fine et d'un sous-produit (char). La proportion entre gaz, liquide et solide dépend de nombreux paramètres tels que la composition initiale du déchet, la température et la pression lors du processus de transformation, le temps de séjour, etc.
- ¹⁶ Cf. Ademe. Site internet précité. La gazéification des déchets consiste à les chauffer à des températures comprises généralement entre 900 et 1200°C en présence d'une faible quantité d'oxygène. En dehors de la fraction minérale du déchet et d'une petite quantité de carbone fixe non converti qui constituent le résidu solide, l'ensemble du déchet est transformé en un gaz de synthèse. Quand la réaction de gazéification est réalisée à pression atmosphérique, ce gaz est généralement constitué principalement de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H₂) ainsi que de quelques pourcents de méthane (CH₄). Selon les procédés, il contient également une proportion plus ou moins importante de dioxyde de carbone (CO₂) et d'azote (N₂). Il contient également une faible quantité de chaînes hydrocarbonées longues appelées goudrons.
- ¹⁷ Cf. Crippa et al (2019). Article précité.
- ¹⁸ <https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-l'action/valorisation-energetique/dossier/pyrolyse-gazeification/principes-pyrolyse-gazeification>

¹⁹ Cf. Polyvia (mai 2022). Le plastique, l'atout bas carbone. Au moins 2,6 milliards d'euros doivent être investis dans le recyclage chimique des plastiques en Europe d'ici à 2025 et au moins 7,2 milliards d'euros d'ici à 2030. La France compte 13 projets de recyclage chimique, dont 4 ont été annoncés en 2022.

²⁰ Chiffres de Plastics Europe.

²¹ La production de pétrole en 2021 s'est élevée à 4 221 millions de tonnes selon Statista 2023. D'après Plastics Europe, 390 millions de tonnes de plastiques ont été produites en 2021, hors textiles. Dans la mesure où ce secteur représente environ 60 millions de tonnes de plastiques, la production mondiale de plastiques a atteint 450 millions de tonnes en 2021, soit 10,7 % de la production de pétrole.

²² Cf. European Topic Center on Waste and Material in a Green Economy. Greenhouse gas emissions and natural capital implications of plastics (including biobased plastics), May 2021. European Environment Agency.

²³ Cela correspond à 4,7 % des émissions de gaz à effet de serre. En comparaison, les outils numériques (big data) sont responsables de 3,5 % des émissions de gaz à effet de serre et le transport aérien de 3,8 %.

²⁴ Cf. Federec et Ademe. Evaluation environnementale du recyclage en France selon la méthodologie de l'analyse de cycle de vie, avril 2017. La méthodologie repose sur la définition d'une unité fonctionnelle (UF) qui décrit la fonction qui est remplie par le système étudié et pour laquelle les impacts environnementaux vont être quantifiés. Cette UF est définie à partir de l'objectif de l'étude. Dans le cadre de ce projet, l'UF correspond à la collecte, au tri et à la transformation d'une tonne de déchets afin de produire des matériaux intermédiaires issus de MPR (matières premières recyclées) en substitution des matériaux intermédiaires issus de ressources vierges. Les flux de référence concernés sont les déchets collectés et triés en France. Le périmètre géographique des étapes de production pour arriver aux matériaux intermédiaires issus de MPR dépendent des exportations annuelles. Le périmètre d'évaluation de la filière mesure les impacts tout au long de la chaîne de recyclage ainsi que les impacts découlant de cette filière de recyclage (collecte évitée, fin de vie évitée et production évitée de matières premières vierges). La méthode de calcul appliquée se base sur la formule de fin de vie recommandée par l'Ademe dans son référentiel méthodologique sur l'affichage environnemental en France. La méthode de recyclage retenue est mécanique.

²⁵ Polyéthylène de haute densité.

²⁶ En 2020, 70 % des fibres de polyester sont fabriquées en Chine.

²⁷ Les rendements du recyclage mécanique varient entre 70 et 80 % selon les intrants. Lors de leur audition, les responsables de Carbios ont signalé des rendements jusqu'à 90 % pour le recyclage enzymatique du PET.

²⁸ Cf. Gontard et al (2022). Recognizing the long-term impacts of plastic particles for preventing distortion in decision-making. Nature sustainability, 5.

²⁹ Selon les statistiques de Plastics Europe, en 2020, en prenant en compte les pays de l'Union européenne ainsi que le Royaume-Uni, la Norvège et la Suisse, le taux de recyclage des plastiques s'élevait en moyenne à 46 % dans le secteur des emballages contre 25 % dans le secteur de la construction et 7 % dans les secteurs du loisir et des sports. Ces chiffres s'appuient sur l'ancienne méthode de calcul du taux de recyclage au niveau de l'Union européenne, qui mesurait les quantités recyclées à la sortie des centres de tri et non au moment du recyclage proprement dit (cf. note n° 31). Cette méthode aboutissait à une surestimation du taux de recyclage.

³⁰ Cf. Eurostat. En 2020, le taux de recyclage des déchets plastiques a été de 23 % à Malte, 25 % en France, 34 % en Italie, 39 % en Belgique, 45 % aux Pays-Bas.

³¹ L'article 6 bis de la directive (UE) 2018/852 du Parlement Européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 94/62/CE relative aux emballages et aux déchets d'emballages calcule le poids des déchets d'emballages recyclés comme étant le poids des emballages devenus déchets qui, après avoir été soumis à toutes les opérations nécessaires de contrôle, de tri et autres opérations nécessaires pour retirer les déchets qui ne sont pas visés par les procédés de retraitement ultérieurs, entrent dans l'opération de recyclage dans laquelle les déchets sont effectivement retraités en produits, matières ou substances. Auparavant, les quantités recyclées étaient mesurées à la sortie des centres de tri. Dorénavant, le taux de recyclage est calculé lors du recyclage proprement dit. Certains scientifiques et les organisations non gouvernementales calculent le taux de recyclage en divisant la masse de déchets plastiques par la masse de matières premières recyclées issues du processus de recyclage. Cette technique permet de prendre en compte les quantités réelles de plastiques issues du recyclage susceptibles de se substituer à la matière plastique vierge. Selon la méthodologie retenue, les taux de recyclage diffèrent. Ainsi, dans les pays de l'Union européenne, en 2020, 53,6 millions de tonnes de plastiques ont été consommés, dont 29,5 millions de tonnes seraient devenues des déchets. 9,1 millions de tonnes auraient été envoyées pour recyclage dans des usines européennes, soit 30,8 %. Toutefois, à l'issue du processus de recyclage, seules 5,5 millions de tonnes de produits recyclés ont été récupérées, soit 18,6 % (ce qui correspond à un écart de près de 40 %). Par ailleurs, le calcul de la masse des déchets ne fait pas consensus. Il est obtenu par addition de toutes les tonnes de déchets déclarées dans chaque pays européen. Or, les tonnes de déchets dans les ordures ménagères sont difficiles à quantifier. Ainsi, dans le rapport « Reshaping Plastics. Pathway to a circular, climate neutral plastics system in Europe », April 2022, il est estimé que 43 % du plastique mis sur le marché en Europe n'est pas comptabilisé dans les statistiques sur les déchets, soit 22 millions de tonnes par an. Dans cette hypothèse, le taux de plastiques recyclés dans l'Union européenne se monte à 21,1 % à l'entrée du processus de recyclage et à 10,7 % à la sortie du processus de recyclage.

³² Citeo a développé un test de la recyclabilité des emballages (TREE) en cinq étapes : à quelle famille de matériau appartient l'emballage ? Cet emballage dispose-t-il d'une filière de recyclage ? L'emballage peut-il y être orienté et s'y intégrer ? Calcul de la recyclabilité, définition du niveau de recyclabilité. En 2022, les emballages plastiques reconnus recyclables par Citeo sont les bouteilles et flacons en PET (polyéthylène téréphtalate), en PE (polyéthylène) et en PP

(polypropylène) ; les pots, barquettes, tubes et autres emballages rigides en PE et PP ; les pots, barquettes et autres emballages rigides en PET sans opercule ainsi que les emballages souples en PE.

³³ Cf. OCDE. Global Plastics Outlook: Economic Drivers, Environmental Impacts and Policy Options. 2022.

³⁴ L'exportation des déchets plastiques reste un sujet complexe compte tenu de la difficile traçabilité des flux, notamment entre ceux qui sont exportés au sein de l'Union européenne pour y être recyclés, ceux qui font l'objet d'un simple transit au sein de certains pays de l'Union européenne pour être ensuite exportés vers des pays tiers et ceux qui sont directement exportés vers des pays tiers. Selon Plastics Europe, en 2019, le bilan entre les importations et les exportations françaises de déchets plastiques aboutirait à des exportations nettes de 240 000 tonnes. Au sein de l'Union européenne, les exportations nettes pour 2019 s'élèveraient à 1 million de tonnes. Compte tenu des incertitudes pesant sur le devenir des plastiques exportés, notamment dans les pays tiers, vos rapporteurs préfèrent baser leurs statistiques sur les taux de recyclage en France, même si cette pratique tend à sous-évaluer le taux réel de recyclage.

³⁵ Les données sur la quantité de plastiques produits ainsi que sur les flux de déchets (et notamment sur les exportations et les importations) sont imprécises, partielles et dispersées. Il conviendrait de mieux encadrer ces données et d'en confier la gestion à une entité publique garante de leur transparence et de leur sincérité.

³⁶ Selon Citeo, les bouteilles et flacons en PET foncé et PET opaque sont recyclés en textiles et toiles d'isolation pour le bâtiment ; les bouteilles, flacons, tubes et boîtes en plastique PEHD et PP sont recyclés en sièges-autos, tuyaux pour le bâtiment, pots de fleurs et mobilier urbain ; les films et emballages souples en plastique PE sont recyclés en sacs poubelles, tuyaux d'irrigation, bassines et seaux.

³⁷ Cf. Systemic. Circularité des emballages et textiles en PET/polyester en Europe. Synthèse des recherches publiées. Février 2023.

³⁸ Chiffres de Plastics Europe qui excluent la production de plastiques pour le secteur textile, soit 60 tonnes environ.

³⁹ La part d'incorporation de plastiques post-consommation recyclés dans de nouveaux produits est également faible en Europe (9,9 % en 2021) et en France (7,8 % en 2020) en dépit des mécanismes incitatifs et prescriptifs mis en place par les pouvoirs publics et les éco-organismes.

⁴⁰ Dans les autres secteurs industriels, les véhicules automobiles et les équipements électriques et électroniques ne comportent respectivement que 2,9 % et 3,2 % de plastiques recyclés alors qu'ils représentent 8,6 % et 6,5 % de la demande. *A contrario*, le taux d'incorporation de plastiques recyclés atteint 25,4 % dans le domaine de l'agriculture et 18,1 % dans le domaine de la construction alors que ces secteurs représentent respectivement 3,1 % et 21,3 % de la demande de matières plastiques.

⁴¹ Les obstacles mentionnés concernent le recyclage mécanique dans la mesure où cette technologie absorbe la quasi-totalité des plastiques recyclés. Le recyclage chimique est abordé ultérieurement.

⁴² Les thermodurcissables présentent la particularité d'être insolubles et de ne pas pouvoir être refondus compte tenu de leur structure chimique particulière (réseau 3D). Ils ne sont donc pas recyclables par voie mécanique, de même que les élastomères vulcanisés et les composites.

⁴³ Cf. Hannah Mangold, Bernhard von Vacano (2022). The frontier of Plastics Recycling: Rethinking Waste as a Ressource for High-Value Applications. *Macromolecular Chemistry and Physics*, 223. Le recyclage en mélange de thermoplastiques ayant des caractéristiques différentes peut créer des hétérogénéités incontrôlées dans le matériau issu du recyclage, affaiblir ses performances mécaniques, rendre impossibles des processus tels que le soufflage de films ou détériorer l'aspect optique.

⁴⁴ Dans le processus de fabrication d'une matière plastique, un polymère est mélangé à des additifs pour obtenir des propriétés d'usage spécifiques. Pour un même polymère, il existe donc plusieurs formulations.

⁴⁵ Par exemple, le PET utilisé dans les barquettes ne présente pas les mêmes caractéristiques de viscosité que celui employé dans les bouteilles et flacons (différences de forme, de fonctionnalité, d'épaisseur, etc.). Cela peut avoir des conséquences sur le recyclage (une barquette PET est plus fragile qu'une bouteille PET), notamment sur le comportement en température, sur l'indice de viscosité de la matière recyclée, sur la couleur du matériau recyclé, etc. Dans l'exemple présent, les bouteilles en PET peuvent être recyclées en barquettes, mais le contraire n'est pas possible. L'incorporation de 20 % de barquettes mono PET non operculées ne perturbe pas le flux PET bouteilles et flacons actuel, mais elle diminue sensiblement les rendements.

⁴⁶ Sous l'effet de la chaleur, de l'eau, de l'oxygène et des rayons ultra-violet.

⁴⁷ Les plastiques contenant des retardateurs de flammes bromés représentent 8 % des déchets issus des équipements électriques et électroniques. Ils constituent des déchets dangereux qui sont séparés lors du tri pour être dirigés vers des filières de traitement spécifique. Source : présentation d'Ecosystem lors de son audition.

⁴⁸ Les substances héritées sont des additifs ajoutés aux polymères pour la fabrication de produits plastiques qui ont été interdits entre le moment où ils ont été incorporés dans la fabrication du produit et le moment où ledit produit arrive en fin de vie.

⁴⁹ La Commission européenne a adopté le 3 mai 2023 une proposition de règlement pour restreindre sur le marché de l'Union européenne la présence du plomb et de ses composés dans le polychlorure de vinyle (PVC). La concentration en plomb dans les produits en PVC (profilés de fenêtre, tuyaux, câbles, etc.) devra être inférieure à 0,1 % du poids du PVC recyclé. Cette interdiction prendra effet 18 mois après l'entrée en vigueur du règlement. Elle autorise toutefois pendant 10 ans l'intégration de PVC recyclé pouvant contenir jusqu'à 1,5 % de plomb hérité dans les profilés et les tôles pour le bâtiment à condition que le PVC recyclé soit recouvert d'une couche de PVC (par laminage ou coextrusion) ou d'un autre matériau contenant moins de 0,1 % de plomb et que le recyclage se fasse en boucle fermée dans un délai de 36 mois à

compter de l'entrée en vigueur de cette décision. Enfin, elle laisse un délai de deux ans aux articles contenant du PVC souple pour s'adapter à cette nouvelle réglementation.

⁵⁰ Actuellement, non seulement le rPET dispose du grade alimentaire, mais son recyclage en boucle fermée est fortement encouragé par les obligations d'incorporation de PET dans les bouteilles plastiques pour boisson. Ainsi, la directive n° 2019/904 du 5 juin 2019 relative à la réduction de l'incidence de certains produits en plastique dans l'environnement impose un taux d'incorporation de plastique recyclé de 25 % minimum en 2025 pour les bouteilles en plastique de type PET et de 30 % minimum pour toutes les bouteilles en plastique à compter de 2030. Néanmoins, certaines études scientifiques révèlent une migration accrue de substances toxiques comme l'antimoine ou le bisphénol A dans le PET recyclé par rapport au PET vierge (cf. Gerassimidou et al (2022). Unpacking the complexity of the PET drink bottles value chain: a chemical perspective, *Journal of Hazardous Material*, Volume 430). Une évaluation plus poussée des risques de migration des substances ajoutées non intentionnellement serait donc pertinente pour fixer le niveau maximum de contenu recyclé dans les bouteilles de boisson en PET. Une étude récente a montré que la contamination chimique des plastiques recyclés provient majoritairement des composants tels que les adhésifs et les encres (cf. Brouwer et al (December 2019). The impact of collection portfolio expansion on key performance indicators of the Dutch recycling system for Post-Consumer Plastic Packaging Waste, a comparison between 2014 and 2017. *Waste Management*, Volume 100). Afin d'évaluer les nouveaux risques émergents liés au développement du recyclage, le laboratoire national de métrologie propose la mise en place d'un observatoire national sur les matériaux recyclés et la séparation des flux de contenants alimentaires des autres flux pour éviter les contaminations.

⁵¹ Toutefois, d'autres plastiques ont vocation à bénéficier du grade alimentaire à l'issue de leur recyclage mécanique. En ce qui concerne le PEHD, Veolia assure au Royaume-Uni le recyclage en boucle fermée des bouteilles de lait. En ce qui concerne le PS, Trinseo a annoncé lors de son audition que le recyclage mécanique en boucle fermée des pots de yaourts en PS devrait être autorisé par l'autorité européenne de sécurité des aliments en octobre 2023.

⁵² Le prix des plastiques recyclés est déterminé par le prix des matières vierges alors même que leur coût de production est régi par le coût de la matière première augmenté des coûts structurels du recyclage (collecte, tri, etc.). Il est généralement inférieur à celui des résines vierges (cette décote est censée traduire la moindre qualité de la matière recyclée par rapport à la matière vierge et compenser la frilosité des plasturgistes et des donneurs d'ordre à utiliser de la matière recyclée) à l'exception du r-PET pour lequel existent des obligations de réincorporation pour les bouteilles et dont le prix est supérieur à du PET vierge.

⁵³ Le développement de l'incorporation de matières recyclées exige une plus grande traçabilité à la fois des matières recyclées (afin notamment d'éviter des fraudes en matière d'obligations d'incorporation ou d'allégations sur la part d'incorporation) et de la composition des matières faisant l'objet de recyclage.

⁵⁴ Les exemples suivants illustrent les difficultés d'accès aux gisements. Selon *Plastics Europe*, en 2020, sur les 2,35 millions de tonnes de déchets d'emballages plastiques produits en France, seule 0,78 tonne a fait l'objet d'une collecte sélective (soit 33,2 %). Dans le domaine des déchets d'équipement électrique et électronique, selon l'éco-organisme *Ecosystem*, sur les 1,8 million de tonnes de produits qui ont fini en déchets en 2019, 450 000 tonnes ont échappé à la filière agréée de manière illégale, 1 44 000 tonnes sont difficilement captables et 108 000 tonnes forment un gisement non documenté. Par conséquent, le gisement réel représente seulement 850 000 tonnes, soit 68,4 % du gisement potentiel. Dans l'automobile, le plastique des véhicules hors d'usage, qui est actuellement traité par des installations agréées, présente des niveaux de récupération très faibles, avec seulement 9 % de recyclage ou de réutilisation. Le plastique utilisé dans les véhicules est très dispersé, intégré dans des composites complexes, et plus de 39 types de polymères différents sont utilisés. Ces choix de conception entraînent des difficultés importantes en fin de vie, notamment un démantèlement limité des composants en plastique (4 % du plastique total en moyenne). Cf. *Systemic. ReShaping Plastics* (April 2022). *Pathways to a circular, climate neutral plastics system in Europe*.

⁵⁵ Ainsi, les déchets d'emballages plastiques sont souillés et contiennent en mélange des emballages alimentaires et non alimentaires, ce qui peut entraîner des contaminations. Certains déchets plastiques agricoles comme les paillages sont également très souillés. Or, la qualité des plastiques collectés a un impact déterminant sur la qualité du recyclage. C'est la raison pour laquelle le recyclage des déchets plastiques post-industriels, qui traite des flux homogènes, permet plus facilement un recyclage en boucle fermée que le recyclage des déchets plastiques post-consommation.

⁵⁶ Au niveau européen, les objectifs de recyclage sont les suivantes : d'ici à 2035, 65 % des déchets municipaux doivent être recyclés et seuls 10 % des déchets municipaux en poids pourront être mis en décharge ; d'ici à 2030, 55 % des plastiques et 70 % des emballages plastiques devront être recyclés ; d'ici à 2025, 70 % des bouteilles à usage unique devront être collectées, et 90 % d'ici à 2030, avec comme objectif d'atteindre un taux de recyclage de 100 % pour tous les emballages d'ici à 2030. En ce qui concerne les obligations d'incorporation de plastique recyclé, d'ici à 2025, les bouteilles pour boisson en PET devront contenir 25 % de matières recyclées et d'ici à 2030, toutes les bouteilles en plastique pour boisson devront contenir 30 % de matières recyclées. Par ailleurs, des engagements volontaires ont été pris dans différentes branches industrielles (automobile, électrique et électronique, etc.) pour que 10 millions de tonnes de plastiques recyclés par an soient réutilisés d'ici à 2025. La France a repris cette réglementation tout en se fixant des objectifs encore plus ambitieux tels qu'un objectif de tendre vers 100 % de plastiques recyclés d'ici à 2025 (article 5 de la loi n° 2020-105 du 10 février 2020 relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, appelée loi AGECE dans le reste de la note).

⁵⁷ La collecte et le tri sont des facteurs déterminants du taux et de la qualité de recyclage.

⁵⁸ La mise en place de l'extension des consignes de tri a été particulièrement longue. A la suite d'expérimentations réalisées entre 2011 et 2013 auprès d'une population de 3,7 millions d'habitants, la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour une croissance verte prévoyait d'étendre les consignes de tri des emballages ménagers à

l'ensemble des emballages en plastique d'ici 2022. L'extension de la consigne de tri facilite la collecte, améliore ainsi la qualité des gisements et participe à l'augmentation des taux de recyclage. Elle a impliqué la modernisation des centres de tri pour faire face à l'augmentation de la diversité des plastiques à trier et à l'accélération des cadences (cf. note n° 65). Début 2023, l'extension des consignes de tri concerne 98 % de la population de métropole. La loi précitée prévoyait également la généralisation du tri à la source des biodéchets et le déploiement de la tarification incitative pour l'enlèvement des déchets ménagers et assimilés, avec un objectif de 25 millions d'habitants en 2025 contre 5 millions en 2015. Transposant la directive (UE) 2018/851 du Parlement européen et du Conseil du 30 mai 2018 modifiant la directive 2008/98/CE relative aux déchets, la loi AGECE a fixé au 31 décembre 2023 l'obligation de tri à la source des biodéchets.

⁵⁹ La loi de transition énergétique pour la croissance verte de 2015 a imposé le déploiement d'un financement incitatif pour le service public des déchets. Elle a fixé l'objectif à 15 millions d'habitants en 2020, puis 25 millions d'habitants en 2025. Sa mise en œuvre reste très lente puisqu'actuellement, seuls 7 millions d'habitants sont concernés par une tarification incitative. Selon l'Ademe, les retours d'expérience récents montrent que la mise en place de la tarification incitative permet une réduction de 31 % de la quantité d'ordures ménagères résiduelles, une augmentation de 17 % de la collecte des emballages et papiers et une réduction de 5 % de la quantité de déchets ménagers et assimilés.

⁶⁰ Cf. article L 541-21-1 du code de l'environnement. Les biodéchets représentent un tiers du contenu de la poubelle résiduelle des Français.

⁶¹ À travers les établissements publics de coopération intercommunale, qui sont responsables du service public de gestion des déchets, et des syndicats en charge du traitement des déchets.

⁶² Le plan de relance a par exemple abondé le fond « Economie circulaire » de l'Ademe de 84 millions d'euros supplémentaires en 2021 et 2022 pour soutenir le déploiement du tri sélectif dans les espaces publics et la modernisation des centres de tri publics et privés.

⁶³ Citeo a investi 119 millions d'euros entre 2018 et 2022 dans la modernisation des centres de tri dans le cadre du plan de performance des territoires.

⁶⁴ Lors de leur audition, les responsables de Citeo ont expliqué que la modernisation des centres de tri et la réduction de leur nombre de 270 à 150 a coûté un milliard d'euros.

⁶⁵ Les centres de tri ont dû être adaptés à l'extension de la consigne de tri. Alors que le bac jaune était réservé jusqu'à présent aux bouteilles et aux flacons, il accueille désormais les pots, barquettes, tubes, films et autres emballages souples en plastique. Les centres de tri ont dû réorganiser les flux de déchets plastiques triés. Néanmoins, les recycleurs ont constaté des difficultés à recycler la matière issue des balles sorties des centres de tri qui appliquaient ces nouveaux flux : incompatibilité entre barquettes et bouteilles en PET clair, perturbation du recyclage du PE et du PP en cas de présence de PS, perturbation du recyclage du PET coloré par le PET opaque. Dans ce contexte, un nouveau flux pour les plastiques a été créé. Il s'agit du flux développement qui rassemble les familles d'emballages suivantes : le PET coloré, composé principalement de bouteilles, le PET opaque, composé principalement de bouteilles de lait, les barquettes en PET et les barquettes multicouches, les pots ou barquettes en PS. Sur les 117 centres de tri capables de trier les emballages issus de l'extension des consignes de tri, 44 peuvent séparer le flux développement des autres flux. Enfin, 8 centres de surtri séparent les matières plastiques selon les différentes résines valorisables : emballages PS, bouteilles et flacons PET coloré, barquettes PET et bouteilles PET opaque blanc. Source : réponse au questionnaire envoyé à Citeo.

⁶⁶ Les filières REP reposent sur le principe « pollueurs-payeurs » : les responsables de la mise sur le marché de certains produits sont responsables du financement de la prévention et de la gestion des déchets issus de leurs produits en fin de vie. L'obligation de REP implique d'adhérer à un éco-organisme, de lui verser une contribution financière et de disposer des informations minimales sur les produits vendus déclarés à l'éco-organisme. La modulation par les éco-organismes des contributions selon des critères environnementaux et un système de bonus-malus doit inciter les producteurs à l'éco-conception de leurs produits, notamment pour faciliter leur recyclage. Avant l'adoption de la loi AGECE, il existait déjà 14 filières REP (sur les emballages ménagers, sur les équipements électriques et électroniques, sur les produits textiles, sur les véhicules hors d'usage, etc.). Cette loi en a créé 11 nouvelles, dont celle sur les produits ou matériaux du secteur du bâtiment, celle sur les jouets, celle sur les articles de sport et de loisir, etc. Les filières REP permettent d'organiser et de financer la collecte et le recyclage des déchets. Vos rapporteurs s'étonnent néanmoins que l'article L. 541-10-18-1 du code de l'environnement prévoit une prise en charge par les éco-organismes des coûts supportés par le service de gestion des déchets ménagers et des papiers plafonnée à 80 % pour les déchets d'emballages ménagers et à 50 % pour les déchets papiers et graphiques.

⁶⁷ Au niveau français, dans le cadre de France 2030, le gouvernement français a lancé une stratégie nationale d'accélération sur les recyclages et la réincorporation de matériaux recyclés à laquelle est adossé un PEPR (programme et équipement prioritaire de recherche) doté de 40 millions d'euros. Pour les matériaux plastiques, trois axes de recherche ont été définis : les contaminants dans les plastiques, le désassemblage et le démantèlement de structures complexes, le recyclage chimique. Enfin, toujours dans le cadre du plan d'investissement France 2030, 300 millions d'euros sont prévus pour développer de nouvelles technologies de recyclage des plastiques.

⁶⁸ Les recherches pour améliorer le recyclage sont foisonnantes, comme l'illustrent les exemples ci-après. Il existe un consensus au sein de la communauté scientifique sur la nécessité d'anticiper le recyclage des plastiques dès leur conception. Plusieurs projets de recherche travaillent donc sur l'éco-conception des matières premières plastiques dès leur synthèse et la conception des architectures macromoléculaires. Pour dépasser le dilemme entre des thermodurcissables non recyclables mais ayant des propriétés mécaniques élevées et des thermoplastiques recyclables mais avec de moindres propriétés mécaniques, les chercheurs développent des liaisons covalentes réversibles. Le matériau devient recyclable avec un comportement et des propriétés équivalentes à celle d'un thermodurcissable conventionnel. Cf. Lucherelli M. A, Duval A, Avérous L. (2022). Biobased vitrimers : towards sustainable and adaptable performing polymer materials, *Progress in Polymer Science*,

Vol 127 : on « ajoute » à la chaîne polymère des groupements chimiques qui vont réagir lors d'un stimulus tel que la température et qui va soit faire, soit défaire des liaisons covalentes réversibles. De même, des techniques de dépolymérisation avec la lumière (infrarouge) sont développées, notamment à l'institut des sciences des matériaux de Mulhouse. Le développement du recyclage mécano-chimique constitue également un domaine de recherche en pleine expansion. Il vise à réaliser une ou plusieurs réactions chimiques dans un mélange de polymères à l'état fondu. L'avantage de ce procédé est d'éviter les étapes de séparation entre les différents polymères qui constituent l'objet plastique (étapes longues, difficiles et coûteuses en énergie). Ce procédé a été validé sur les emballages souples multicouches alimentaires. Il n'est toutefois pas encore industrialisé. Le recyclage biologique (ou enzymatique) est soutenu au niveau européen par plusieurs projets, dont un s'intéresse au recyclage des matières premières mélangées (projet EU H2020 2019-2023 Mix-up), et un autre (Projet EU H2020 P4SB - from Plastic Waste to Plastic value using *Pseudomonias putida* Synthetic Biology) vise le recyclage enzymatique des polyuréthanes (cf. Magnin A. et al (2019). *Enzymatic recycling of thermoplastics polyurethanes: synergistic effect of an esterase and an amidase and recovery of building blocks*, Waste Management, Vol. 85). Dans le domaine du recyclage chimique, de nombreux travaux portent sur l'utilisation de catalyseurs pour diminuer les températures nécessaires aux réactions chimiques (et donc réduire l'énergie utilisée) et améliorer la pureté des produits (cf. Jia et al (2016). *Efficient and selective degradation of polyethylenes into liquid fuels and waxes under mild conditions*, Science Advances, Vol 2, Issue 6).

⁶⁹ La gestion de la fin de vie des produits plastiques doit être intégrée dès leur conception afin d'assurer leur recyclage à un prix raisonnable. L'article 61 de la loi AGECE dispose qu' « au plus tard le 1er janvier 2030, les producteurs, metteurs sur le marché ou importateurs, responsables de la mise sur le marché d'au moins 10 000 unités de produits par an et déclarant un chiffre d'affaires supérieur à 10 millions d'euros, doivent justifier que les déchets engendrés par les produits qu'ils fabriquent, mettent sur le marché ou importent sont de nature à intégrer une filière de recyclage. Cette obligation ne s'applique pas aux produits qui ne peuvent intégrer aucune filière de recyclage pour des raisons techniques, y compris en modifiant leur conception. Les producteurs, metteurs sur le marché ou importateurs de ces produits doivent alors justifier de cette impossibilité et sont tenus de réévaluer tous les cinq ans la possibilité de revoir la conception des produits concernés pour qu'ils puissent intégrer une filière de recyclage. Un décret en Conseil d'État définit les conditions d'application du premier alinéa du présent IV et les sanctions pour les producteurs, metteurs sur le marché et importateurs dont les produits ne peuvent être intégrés dans aucune filière de recyclage et qui ne sont pas en mesure de démontrer l'impossibilité d'intégrer leurs produits dans une telle filière de recyclage. ». Cette disposition a vocation à constituer une contrainte forte pour les metteurs sur le marché dans le choix des matériaux et des formulations pour leurs produits en faveur d'une meilleure recyclabilité. Par ailleurs, les éco-organismes accompagnent les producteurs en matière d'éco-conception. Citeo a par exemple développé un test de recyclabilité des emballages (TREE) à destination des acteurs de l'emballage. Le montant des éco-contributions versés par les producteurs varie également en fonction de la recyclabilité du produit. Citeo a défini une grille de malus avec trois taux : 10 % (pour les bouteilles et flacons en PET avec manchon en PETg, PLA (polylactique acid ou acide polylactique) ou PS non perforés par exemple), 50 % (pour les bouteilles, flacons et autres emballages plastiques rigides sombres non détectables par tri optique par exemple) et 100 % (pour les bouteilles, flacons et autres emballages en PET opaque avec une charge minérale supérieure à 4 % ou encore les bouteilles et flacons en PVC qui sont non recyclables et non valorisables). Citeo a également instauré un système de bonus, notamment pour encourager l'incorporation de matière recyclée dans les emballages.

⁷⁰ Cf. OCDE (2022). *Global Plastics Outlook. Policy scenario to 2060*, OCDE Publishing, Paris. Les applications à courte durée de vie, telles que les emballages, les produits de consommation et les textiles devraient dominer les flux de déchets plastiques, représentant environ deux tiers des déchets plastiques en 2060. Par ailleurs, si la consommation de plastiques devrait doubler aux États-Unis, dans les pays de l'Union européenne et en Chine, elle sera multipliée par 5,5 en Inde et par 6,5 en Afrique hors Afrique du Nord.

⁷¹ Le taux de recyclage devrait passer de 9 % en 2019 à 17 % en 2060. Cf. OCDE (2022). Rapport précité.

⁷² Le taux d'incinération passera de 19 % en 2019 à 18 % en 2060. Cf. OCDE (2022). Rapport précité.

⁷³ Le taux d'enfouissement passera de 49 % à 50 %. Par ailleurs, 15 % des déchets plastiques seront mal gérés en 2060 (soit 153 millions de tonnes), contre 22 % en 2019 (79 millions de tonnes). Cf. OCDE (2022). Rapport précité.

⁷⁴ Cf. Philippe Bolo, député, et Angèle Prévile, sénatrice. *Pollution plastique, une bombe à retardement*. Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 3654 Assemblée nationale, n° 217 Sénat. 10 décembre 2020.

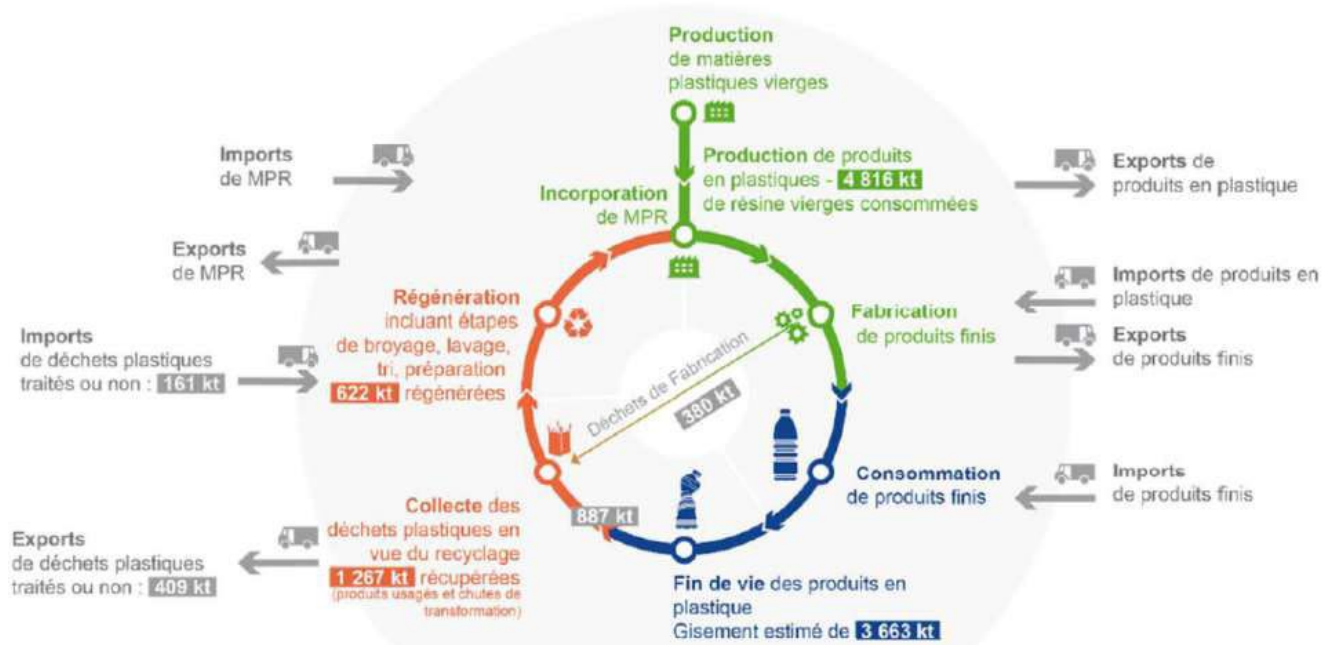
⁷⁵ L'Union européenne a ainsi défini une stratégie sur les matières plastiques compatible avec la mise en place d'une économie circulaire qui repose sur trois axes :

- la réduction des déchets plastiques par l'interdiction de certains usages (cotons-tiges, couverts, assiettes, pailles, bâtonnets mélangeurs et tiges de ballons de baudruche, récipients pour aliments en polystyrène expansé, récipients pour boissons en PSE) et par des obligations de réduction (sacs en plastique légers, gobelets et récipients pour aliments) ;
- l'amélioration de la collecte, du tri et du recyclage à travers les objectifs suivants (déjà mentionnés précédemment): 65 % des déchets municipaux doivent être recyclés d'ici à 2035 et seuls 10 % des déchets municipaux en poids pourront être mis en décharge. D'ici à 2030, 55 % des plastiques et 70 % des emballages en plastique devront être recyclés. D'ici à 2025, 77 % des bouteilles en plastique à usage unique devront être collectées (90 % d'ici à 2030).
- le soutien à l'incorporation de plastiques recyclés.

La législation française a repris cette stratégie tout en la renforçant. Elle a ainsi arrêté la fin de la mise sur le marché des emballages en plastique à usage unique d'ici 2040 (et un objectif de réduction de 100 % des emballages en

plastique à usage unique inutiles d'ici la fin de l'année 2025). Plusieurs mesures ont été adoptées pour promouvoir le vrac et imposer le réemploi (mise sur le marché de 5 % d'emballages réemployés en 2023 et 10 % en 2027) tandis que des objectifs chiffrés ont été fixés pour la réduction de la consommation de plastiques (objectifs de réduire de 50 % d'ici à 2030 le nombre de bouteilles en plastique à usage unique pour boissons mises sur le marché ; réduction de 20 % des emballages à usage unique d'ici fin 2025, dont la moitié obtenue par recours au réemploi et à la réutilisation).

⁷⁶ Les deux schémas suivants illustrent la présentation circulaire du recyclage, qui contraste avec la réalité. Source Ademe, cycle de vie des plastiques en France, BNR, 2020 et rapport d'activité de Re-Fashion.



⁷⁷ Cf. Anette Svingstedt, Hervé Corvellec and Emma Samsioe (2020). The normality of industrial and commercial waste: economic, technical and organizational barriers to waste prevention, Detritus , Volume 13.

⁷⁸ Cf. Eurostat et Commission staff working document. Executive summary of the impact assesement report. Proposal for a regulation of the European Parliament and the Council on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020, and repealing Directive 94/62/EC, Brussels, 30.11.2022, SWD (2022) 385 final : en dépit des progrès en matière de recyclage des déchets d'emballages plastiques, ces derniers ont augmenté de 26,7 % entre 2009 et 2020 dans les pays de l'Union européenne. En 2020, chaque habitant de l'Union européenne a généré 178 kg de déchets

d'emballages, dont 19,4 % étaient des emballages plastiques (soit 34,5 kg par habitant). Sans mesure radicale pour réduire la production de déchets d'emballage, ces derniers devraient passer de 78 millions de tonnes en 2018 à 92 millions de tonnes en 2030 et 107 millions de tonnes en 2040.

⁷⁹ Lors de l'élaboration des nouveaux guides techniques de la convention de Bâle sur la gestion écologiquement rationnelle des déchets plastiques le 12 mai 2023, les parties prenantes ont adopté par consensus la résolution suivante : « *Le recyclage chimique est une technologie émergente qui consiste à décomposer les molécules de polymères plastiques en éléments plus petits (monomères ou oligomères), à les soumettre à d'autres traitements et à les utiliser comme produits chimiques de base, y compris comme matières premières pour la fabrication de plastiques (recyclage des matières premières). Le recyclage chimique, un domaine en pleine évolution, peut être une technologie complémentaire au recyclage mécanique pour certains types de déchets plastiques. L'applicabilité du concept de gestion écologiquement rationnelle des déchets au recyclage chimique doit faire l'objet d'un examen plus approfondi.* » UNEP/CHW.16/6/Add.3/Rev.1
<http://www.basel.int/Portals/4/Basel%20Convention/docs/plastic%20waste/UNEP-CHW.16-6-Add.3-Rev.1.English.pdf>

⁸⁰ Les technologies de tri sont de plus en plus performantes et coûteuses pour identifier des formulations de plastiques toujours plus complexes. Actuellement, il existe trois grandes techniques :

- la séparation densimétrique qui utilise la différence de masse volumique (densité) entre deux matériaux pour les séparer. Il est à noter que les charges minérales ou chimiques incorporées dans les plastiques modifient la densité des produits et peuvent dans certains cas conduire à la superposition des gammes de densité de deux polymères différents ;
- les techniques de spectroscopie : la spectroscopie proche infrarouge repose sur les signatures spectrales particulières dans cette gamme de longueurs d'onde (chaque gamme de longueur d'onde est associée à un tri spécifique de la matière). Cette technique ne permet toutefois pas de trier les produits noirs composés de noir de carbone qui absorbe une large gamme de longueurs d'onde du visible au proche infrarouge. Des technologies dans le moyen-infrarouge ont vu le jour en 2020 après 5 ans de recherche et de développement, qui permettent de pallier la non-détection des plastiques chargés en noir de carbone. D'autres techniques focalisées dans la gamme du rayonnement X sont utilisées pour identifier des polymères, les métaux ainsi que les charges et additifs comme les retardateurs de flammes bromés encore présents dans les équipements électriques et électroniques ;
- la séparation par triboélectricité est utilisée pour séparer différents types de matériaux plastiques en mettant en œuvre la capacité de ces matériaux à acquérir des charges positives ou négatives, suivant leur nature.

De nouvelles techniques sont en développement telles que la séparation par mesure diélectrique (les propriétés diélectriques caractérisent la capacité d'un matériau à être polarisé sous l'influence d'un champ électromagnétique) ; les filigranes numériques (ou digital watermarks) qui sont des marqueurs invisibles imprimés sur l'étiquette de surface ou moulés en relief sur le plastique qui permettent de coder beaucoup d'informations et permettent une très bonne traçabilité ; l'intelligence artificielle basée sur un traitement des images en couleur et qui fonctionne très bien sur les objets grand public. L'intelligence artificielle s'applique aux données de spectroscopie et renforce leur sélectivité. Elle pourrait jouer un rôle important dans le surtri des bouteilles et des barquettes en PET, mais également dans la distinction des emballages alimentaires des autres emballages.

⁸¹ L'amélioration du recyclage passe par l'utilisation de compatibilisants qui permettent d'améliorer les propriétés physico-mécaniques des matières recyclées issues d'un mélange de polymères. L'utilisation d'anti-oxydants et de stabilisants évite les pertes de propriété des matières recyclées telles que la résistance aux chocs. Les difficultés rencontrées pour les mélanges de plastiques recyclés proviennent fréquemment de distributions de masses molaires moyennes des chaînes de polymères inadaptées aux procédés de retransformation pour les applications recherchées. Des solutions visant à homogénéiser les matières et à restaurer les masses molaires ont été développées, basées sur l'utilisation de peroxydes (composés permettant de provoquer des coupures de chaînes et des recombinaisons) et d'extendeurs de chaîne. Tous ces procédés de traitement présentent des coûts plus ou moins importants en fonction des niveaux de pureté et de fonctionnalité attendus des matières plastiques recyclées. Cf. note scientifique rédigées par José-Marie Lopez-Cuesta et Didier Perrin (juin 2023), centre des matériaux (C2MA), IMT Mines Alès, pour la présente note scientifique. Dans le cadre de leurs auditions, vos rapporteurs ont également rencontré un entrepreneur qui utilise les déchets industriels (poudres de peinture, toner, billets de banque) pour fabriquer des additifs permettant le recyclage de produits en plastique actuellement non recyclés (seaux de peinture, déchets plastiques souillés, films multicouches). Les techniques de dépollution des polymères sont également sans arrêt perfectionnées, notamment à travers l'utilisation du CO₂ supercritique.

⁸² La Cour des comptes, dans son rapport de septembre 2022 intitulé « Prévention, collecte et traitement des déchets ménagers : une ambition à concrétiser » indique que le coût spécifique de la collecte et du traitement des déchets ménagers et assimilés a connu entre 2006 et 2016 une hausse de près de 50 % en valeur absolue, atteignant le montant de 10,9 milliards d'euros en 2016. Par ailleurs, les collectivités territoriales estiment à 1,6 milliard d'euros le coût de gestion de fin de vie des emballages (tous matériaux confondus).

⁸³ Dans le secteur des emballages, 35 % d'entre eux ne sont pas recyclables et la mise sur le marché de nouveaux emballages problématiques constitue un frein massif à l'amélioration du taux de recyclage. Certains de ces emballages ont été développés avec comme objectif la réduction en poids de matières plastiques. Ainsi, un nombre grandissant d'emballages de produits laitiers sont composés d'une fine couche de plastique entourée d'une couche de papier-carton qui donne la tenue à l'emballage. Le carton est souvent pré-découpé afin que le consommateur puisse le séparer facilement du plastique après consommation du contenu. Toutefois, si ce geste n'est pas réalisé, les machines de tri considèrent qu'il s'agit d'un emballage en papier et le plastique vient perturber le recyclage des papiers. De même, un producteur de plats

préparés a remplacé récemment sa barquette en plastique par une barquette en bois. Toutefois, cette matière n'est pas reconnue par la machine de tri optique et finira donc dans le refus de tri, soit incinérée soit enfouie.

⁸⁴ Une étude IPSOS de 2019 sur la qualité du geste de tri des Français pour les emballages légers montre que 89 % des Français trient ces emballages. Toutefois, ils ne sont que 51 % à le faire systématiquement. En outre, ils ne sont que 28 % à les trier correctement.

⁸⁵ Dans son rapport public annuel de 2020, la Cour des comptes rappelle les fonctions des éco-organismes : « Les éco-organismes ont pour vocation principale d'optimiser la gestion des déchets dont ils ont la charge, mais aussi de prévenir la production de déchets. Dans ce cadre, ils soutiennent, organisent et financent la prévention, la collecte, l'enlèvement et le traitement des déchets ainsi que des actions d'information, de communication et de recherche-développement. Le traitement des déchets s'inscrit dans un cadre juridique européen qui hiérarchise cinq niveaux de gestion, du plus souhaitable, la prévention (donc l'absence de déchets), au réemploi, au recyclage (consistant à réutiliser les déchets en substitution d'autres matières), à la valorisation énergétique (visant à récupérer le pouvoir calorifique du déchet par sa combustion) et, enfin, à la mise en décharge. ». En 2020, les recettes des 14 éco-organismes s'élevaient à 1,8 milliard d'euros (dont 1,7 milliard d'éco-contributions et 100 millions de recettes matières). Côté dépenses, 811 millions d'euros étaient consacrés aux soutiens financiers aux collectivités territoriales et 386 millions d'euros au soutien à la collecte versé à d'autres acteurs que les collectivités territoriales. Avec un chiffre d'affaires de 831,8 millions d'euros en 2021, Citeo était l'éco-organisme le plus important financièrement. Toutefois, avec 46 millions de tonnes de déchets, la filière REP des produits et matériaux de construction de bâtiment, entrée en vigueur en 2023, est près de 9 fois plus importante que celle des emballages ménagers (5,34 millions de tonnes) en poids et 17 fois plus puissante financièrement. La loi AGEC a créé 11 nouvelles filières REP (emballages professionnels, jouets, articles de sport et de loisir, articles de bricolage et de jardin, huiles minérales et synthétiques, produits du tabac, gommages à mâcher, textiles sanitaires à usage unique, engins de pêche contenant du plastique, aides techniques médicales).

⁸⁶ Certains intervenants ont par exemple regretté que l'application du principe des éco-modulations par l'éco-organisme Re-Fashion se traduisait uniquement par l'octroi de primes (primes à la durabilité, primes relatives à l'obtention de certains labels environnementaux, primes à l'incorporation de matières recyclées). Par ailleurs, de nombreux intervenants ont constaté qu'en dépit des modulations des éco-contributions et des outils d'aide à la décision TREE et LESS mis en place par Citeo en matière d'emballage, la recyclabilité comme l'utilité de certains emballages mis sur le marché laissent à désirer.

⁸⁷ Par exemple, des emballages sont mis sur le marché sans concertation préalable avec les centres de tri et les recycleurs, ce qui entraîne des perturbations dans les processus de tri et de recyclage. Ainsi, la barquette en PET colorée avec du noir de carbone n'est pas reconnue par les machines de tri. De même, au moment de leur mise sur le marché, il a été constaté que les bouteilles en PET opaque perturbaient le recyclage des autres bouteilles en PET. Il a fallu plus de trois années de R&D *a posteriori* pour diminuer le taux d'opacifiant des bouteilles en PET opaque et permettre leur recyclage. A défaut de pouvoir imposer un nombre limité de résines et de formulations à mettre sur le marché, des investissements considérables sont réalisés afin de développer des filières de recyclage pour des résines qui n'auraient pas dû être mises sur le marché.

⁸⁸ La loi AGEC implique davantage les filières REP dans le développement de réemploi et de la réutilisation. Ainsi, les filières REP équipements électrique et électroniques (3 E), éléments d'ameublement (EA), textiles d'habillement, linge de maison et chaussures (TLC), articles de sport et loisir (ASL), articles de bricolage et de jardinage (ABJ) et jouets doivent financer le fonds réemploi-réutilisation et le fonds réparation. Par ailleurs, les éco-organismes de la filière emballages ménagers doivent participer à l'atteinte de l'objectif national de 5 % d'emballages réemployés mis sur le marché en France en 2023 et 10 % en 2027. La loi AGEC prévoit également d'ici la fin de l'année 2025 une réduction de 20 % des emballages plastiques à usage unique, dont au minimum la moitié obtenue par recours au réemploi et à la réutilisation et une réduction de 100 % des emballages en plastique à usage unique « inutiles ». Par ailleurs, la loi AGEC vise l'objectif de 100 % de recyclage des emballages en plastique à usage unique d'ici le 1^{er} janvier 2025. Concrètement, ces derniers doivent être recyclables, ne pas perturber les chaînes de tri ou de recyclage et ne pas comporter de substances ou d'éléments susceptibles de limiter l'utilisation du matériau recyclé.

⁸⁹ Un monopsonne est un type de marché sur lequel il existe de nombreux offreurs pour un unique demandeur.

⁹⁰ Cf. Denis Voinot (2021). La passation des marchés de prévention et de traitement des déchets par les éco-organismes. *Revue juridique de l'économie circulaire*. N°1. L'apparition des éco-organismes a bouleversé le marché de traitement des déchets. Alors que les prestataires de gestion des déchets contractaient traditionnellement avec des milliers de clients, ces opérateurs économiques n'ont désormais pour interlocuteurs que quelques clients, voire un seul. Les prestataires de gestion des déchets sont donc fortement dépendants des éco-organismes qui peuvent dicter leurs conditions, notamment en matière de prix et de durée des contrats, au risque de fragiliser l'équilibre financier des prestataires de gestion des déchets et d'entraver les investissements nécessaires pour un recyclage de qualité.

⁹¹ Les éco-organismes tendent à contrôler l'ensemble de la chaîne de valeur pour un flux donné, créant ainsi un monopole de fait sur la collecte, le traitement et l'utilisation de la matière recyclée. C'est le cas pour le flux développement mis en place par Citeo.

⁹² Les éco-organismes ont des obligations légales en matière de traitement des déchets. Néanmoins, leur stratégie financière (limiter les coûts de traitement des déchets pour leurs actionnaires) et stratégique (leurs actions sont principalement concentrées sur la gestion de fin de vie des déchets) peut être en contradiction avec d'autres objectifs en matière d'économie circulaire (prévenir la production de déchets, assurer un recyclage de qualité), de politique industrielle (favoriser le développement d'une filière nationale de traitement des déchets) ou de performance environnementale (donner la priorité au recyclage mécanique par rapport au recyclage chimique en raison de son moindre impact environnemental). Or, la

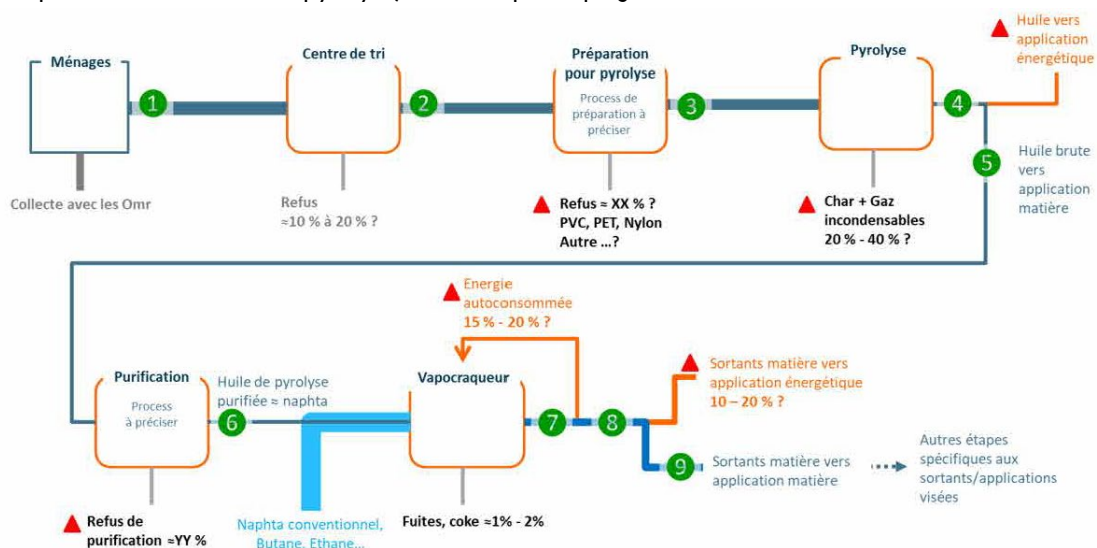
gouvernance actuelle des éco-organismes ne permet pas de prendre en compte ces préoccupations en dépit de la création d'un comité des parties prenantes.

⁹³ Cf. Simon Hann, Toby Connock. Chemical Recycling: State of Play. Report for CHEM Trust, 8th December 2020. « Tout au long de ce rapport, la conclusion dominante est qu'il est constaté un manque général de transparence ou de données solides pouvant être utilisées pour vérifier les affirmations ou tirer des conclusions fermes sur la viabilité de nombreuses technologies. Cela est dû, en partie, au nombre très réduit d'exemples, à l'échelle du laboratoire, qui démontrent la possibilité de ces technologies plutôt que leur viabilité. À l'échelle commerciale, la concurrence pour être le premier sur le marché est forte, ce qui semble limiter les preuves accessibles au public. Cela signifie également qu'il faut faire preuve de prudence, car l'absence de preuves peut signifier soit un manque de connaissances, soit une réponse moins favorable. Afin de confirmer le rôle, l'ampleur et la portée de ces technologies, il est urgent de faire preuve de plus de transparence au sein de l'industrie du recyclage chimique. Il existe des informations montrant que certaines technologies sont prometteuses, mais d'importants détails concernant les flux de masse, l'utilisation des produits chimiques et la viabilité des processus dans des conditions réelles de gestion des déchets sont largement incomplètes. Les investissements devraient être réservés aux organisations qui s'engagent librement à améliorer la compréhension autour de ces éléments manquants. »

⁹⁴ Les informations sont rares et proviennent la plupart du temps des entreprises qui développent le processus de recyclage, sans possibilité de vérification des chiffres avancés. En outre, selon la technologie considérée, la consommation en énergie, en eau ainsi que l'empreinte carbone varient considérablement. Il existe toutefois un consensus sur le fait que le recyclage mécanique reste la technologie qui émet le moins de CO₂, quelle que soit la technique de recyclage chimique considérée, même si la comparaison entre les performances du recyclage chimique et du recyclage mécanique n'est réellement pertinente que si la qualité du produit obtenu par les différentes technologies est similaire. La technique du recyclage thermique (pyrolyse et gazéification) serait la plus impactante en matière d'émission de CO₂, voire aurait un bilan environnemental inférieur à celui de la production de plastique vierge selon les méthodologies utilisées pour effectuer les comparaisons.

⁹⁵ Cf. Chemical Recycling of Polymeric Materials from Waste in the Circular Economy. Final Report prepared for The European Chemicals Agency. August 2021 : « L'analyse de la littérature scientifique montre une connaissance fragmentée sur le devenir des substances préoccupantes dans plusieurs procédés de recyclage chimique. Les études s'intéressent principalement aux différents types de pyrolyses réalisées sur des déchets électroniques et au devenir des retardateurs bromés. Aucune étude n'a été relevée sur d'autres technologies de recyclage chimique. Il est important de noter que différentes technologies de pyrolyse montrent des capacités variables à traiter les substances préoccupantes. En outre, il n'est pas certain que les technologies analysées dans la littérature scientifique aient été appliquées dans des contextes industriels. »

⁹⁶ L'un des arguments avancés en faveur du recyclage chimique est sa capacité à assurer un recyclage infini, à l'exception du recyclage par dissolution (cf. supra). Toutefois, le rapport Chemical Recycling: state of Play mentionné précédemment fait le constat suivant : « la boucle infinie est techniquement possible car le matériau lui-même n'est pas dégradé au cours de chaque boucle de recyclage, mais dans la pratique, cela n'est pas sans entraîner des pertes souvent importantes à chaque cycle de vie et il faudra donc toujours produire une quantité importante de polymère vierge pour combler ce déficit. ». La quantité de matière vierge nécessaire dépend des rendements attendus. Selon les informations obtenues par vos rapporteurs au cours de leurs auditions, les techniques de dépolymérisation chimique et biologique des PET permettraient d'atteindre des rendements de 90 %, à condition que les flux de déchets plastiques entrants soient homogènes (ce qui implique leur tri préalable) et aient fait l'objet d'une préparation (élimination des perturbateurs - notamment pour les textiles - et des contaminants contre-indiqués, broyage et lavage). Cf. Recyclage chimique et physico-chimique des déchets plastiques (Juin 2022), Etude RECORD n° 21-0919/1A Deloitte. En revanche, les rendements via les techniques de pyrolyse sont beaucoup plus modestes compte tenu de la multiplication des étapes entraînant des pertes en matières pendant la phase de tri, lors de la pyrolyse, au moment de la purification de l'huile de pyrolyse, lors du vapocraquage.



Source : ADEME - Chaîne du recyclage des plastiques par voie pyrolyse/vapocraquage – illustration des étapes successives à considérer pour des déchets d'emballages ménagers

Ainsi, l'Ademe estime que les rendements de la pyrolyse et du vapocraquage ne sont que de 70 % chacun. Par conséquent, et dans l'hypothèse où l'intégralité de l'huile de pyrolyse est envoyée dans le vapocraqueur, le taux de recyclage est au maximum de $0,70 \times 0,70 = 49 \%$. D'autres études se basant sur un taux de rendement à l'issue du tri de 90 %, un rendement de pyrolyse de 70 % et un rendement de l'étape de vapocraquage de 50 % aboutissent à un taux de recyclage des déchets plastiques par la méthode de dépolymérisation thermique de $0,9 \times 0,7 \times 0,5 = 31,5 \%$, qui contredit largement l'idée d'un recyclage infini.

⁹⁷ La traçabilité de la matière se pose essentiellement pour la technique de la dépolymérisation thermique. L'huile de pyrolyse peut être utilisée pour produire des carburants ou des combustibles (voie « plastics to fuel ») ou comme substitution à des bases pétrolières conventionnelles, tel que le naphta, en entrée de vapocraqueur. Toutefois, compte tenu des capacités gigantesques des vapocraqueurs (plusieurs centaines de milliers de tonnes par an, voire plusieurs millions de tonnes), les huiles de pyrolyse sont mélangées à du naphta conventionnel pour servir d'intrants et il n'est pas possible d'établir par une mesure physique le contenu recyclé des différents sortants des vapocraqueurs. La proportion de matières premières recyclées utilisées dans la production et la quantité de produits recyclés générés sont alors calculées par la méthode du bilan massique (Mass balance).

⁹⁸ Contrairement à une idée reçue, le recyclage chimique n'a pour l'instant pas vocation à valoriser des déchets contaminés et hétérogènes pour lesquels la séparation et le tri ne sont pas viables économiquement et techniquement. En effet, afin d'être rentable économiquement, le recyclage chimique doit atteindre des rendements élevés qui exigent un accès à des intrants en volume et en qualité suffisante (homogénéité des flux). En outre, à l'instar de ce qui se passe pour le recyclage mécanique, les matières plastiques font l'objet d'un pré-traitement pour éliminer les contaminants (colle, étiquettes) et sont ensuite broyées. Cf. Recyclage chimique et physico-chimique des déchets plastiques (juin 2022). Etude RECORD n° 21-0919/1A Deloitte. Même dans le cas de la pyrolyse qui a vocation à traiter des résines mélangées (en particulier des polyoléfines), un tri en amont est assuré pour éviter la présence de PVC et d'autres déchets contenant des halogènes (chlore, brome), car leur décomposition entraîne la production de gaz halogènes acides tels que le chlorure d'hydrogène. Non seulement ces gaz sont toxiques, mais ils provoquent la décomposition thermique de l'équipement de dépolymérisation. Cf. Chemical Recycling: State of Play. Rapport précité.

⁹⁹ L'accès aux gisements est une question encore plus stratégique pour le recyclage chimique que pour le recyclage mécanique. En effet, compte tenu de son coût élevé, le recyclage chimique ne peut être rentable que s'il traite des volumes importants de déchets (plusieurs dizaines de milliers de tonnes).

¹⁰⁰ Cf. Sophie Duquesne (novembre-décembre-janvier 2020-2021), article précité. « Comme une batterie se charge et se décharge théoriquement à l'infini, les chimistes des polymères devraient concevoir dans le futur des plastiques qui pourraient être polymérisés, dépolymérisés, puis repolymérisés avec des changements minimes dans leur quantité ou leurs propriétés finales. À titre d'exemple, une approche originale d'écoconception de matériaux composites renforcés par des fibres de carbone a récemment été proposée par Yu et al [(2016). Carbon fiber reinforced thermoset composite with near 100 % recyclability, *Advanced Functional Materials*, 26, <https://doi.org/10.1002/adfm.201602056>.] La méthode repose sur la dissolution et la repolymérisation d'une matrice époxy dans l'éthylène glycol (EG) par réaction de transestérification se produisant à haute température ».

¹⁰¹ Dans le secteur de l'emballage par exemple, le PET est la seule résine recyclée mécaniquement disposant du grade alimentaire. Au contraire, le recyclage chimique (dépolymérisation chimique, biologique et thermique) permet de produire des matières ayant la qualité de matière vierge.

¹⁰² Le flux développement fait l'objet d'une étape de surtri afin de séparer les matières plastiques selon les différentes résines valorisables : emballages en PS, bouteilles et flacons en PET coloré, barquettes en PET et bouteilles en PET opaque blanc. Ce surtri permet le recyclage en boucle fermée des matières par voie mécanique. Ainsi, 70 % du marché des pots et barquettes a été gagné par Paprec qui va, dans un premier temps recycler mécaniquement les barquettes monocouches avec un retour au grade alimentaire. Toutefois, lorsque l'usine de dépolymérisation chimique d'Eastman entrera en fonctionnement en 2025, la prise en charge de l'ensemble des pots et barquettes en PET sera alors transférée à Eastman pour une durée de 9 ans, qu'il s'agisse des barquettes multicouches (non recyclables mécaniquement) et monocouches (recyclables mécaniquement).

¹⁰³ Cf. Lase et al (May 2023). How much can chemical recycling contribute to plastic waste recycling in Europe ? An assessment using material flow analysis modeling. *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 192 ou encore *Systemic* (March 2022). Rapport précité.

¹⁰⁴ De nombreuses organisations environnementales s'inquiètent de l'effet verrou du recyclage chimique. En effet, ce dernier nécessite des investissements considérables qui ne peuvent être amortis que si les gisements de plastiques sont assurés en qualité et en quantité suffisantes sur une longue période. Par conséquent, le recyclage chimique peut verrouiller les politiques publiques de gestion des déchets sur le long terme et contrecarrer certaines initiatives visant à réduire le volume des déchets plastiques. L'effet rebond consiste à encourager l'utilisation du plastique en donnant l'impression aux consommateurs que la gestion de la fin de vie des plastiques est maîtrisée. En outre, le recyclage chimique permet aux grandes entreprises de la pétrochimie de « verdier » leur image à travers l'incorporation d'une partie de plastiques recyclés dans leurs installations de vapocraquage. La promesse de recyclage chimique a également contrecarré les tentatives du gouvernement et des parlementaires d'éliminer le PS du marché des emballages alimentaires, comme s'y étaient engagés Nestlé et Danone au

moment de la signature du pacte national sur les emballages plastiques en 2019. Ainsi, un consortium s'est créé à l'automne 2020 sous l'impulsion de Citeo, Valorplast et Syndifrais regroupant des entreprises des secteurs des produits laitiers, de la viande et de la volaille pour promouvoir une filière de recyclage du polystyrène d'ici à 2025. L'objectif était d'obtenir un taux de 100 % de PS recyclable en France en 2025. À cet effet, les entreprises se sont engagées à incorporer du polystyrène recyclé dans leurs emballages. À la suite d'un appel d'offres par Citeo, deux entreprises ont été retenues. 80 % du marché a été remportée par la société belge Indaver en train de construire une usine de recyclage par pyrolyse à Anvers qui devrait être opérationnelle en 2024. 20 % du marché a été remporté par la société espagnole de recyclage mécanique du PS Eslava. Il convient de noter que Citeo s'est engagé sur un flux de 10 000 tonnes, alors que 100 000 tonnes d'emballages en polystyrène sont mises sur le marché français chaque année. En dépit de ce très faible taux de recyclage, le gouvernement estime qu'il existe une filière de recyclage pour le polystyrène. Par conséquent, l'interdiction des emballages en polystyrène prévue dans la proposition de loi visant à lutter contre les plastiques dangereux pour l'environnement et la santé a été supprimée lors de son adoption en première lecture par l'Assemblée nationale le 6 octobre 2022 et le texte se limite à interdire certains des emballages de la restauration rapide en PS extrudé.

¹⁰⁵ Cf. Les synthèses de l'Office. Les enjeux scientifiques du traité international visant à mettre un terme à la pollution plastique. Mai 2023.

¹⁰⁶ Alors que les objectifs de taux de collecte pour recyclage des bouteilles plastiques de boisson ont été fixés à 77 % pour 2025 et 90 % pour 2029, il s'élève en France à 60 % en 2022. De même, le taux de recyclage des emballages ménagers en plastique en France se monte à 23 % en 2021 (moyenne européenne de 37,6 %), contre un objectif de 50 % en 2025 et 55 % en 2030 au niveau européen. La France se situe ainsi à l'avant-dernière place du classement européen. La mauvaise performance de la France en matière de recyclage a des répercussions financières considérables en raison de la contribution financière des États membres sur les déchets d'emballages en plastique non recyclés mise en place en 2021 afin de rembourser le plan de relance européen. Avec ce système, les dix États membres les plus riches reversent 80 centimes d'euro au budget communautaire par kilogramme de déchets plastiques non recyclés. En 2021, la France a ainsi versé 1,247 milliard d'euros à l'Union européenne. Il convient de remarquer que certains pays (comme l'Espagne et l'Italie) ont décidé de répercuter cette taxe sur les emballages en plastique à usage unique qui ne sont pas recyclables. La France a opté pour une couverture des coûts de cette taxe par son budget national.

¹⁰⁷ Tous les pays ayant mis en place une consigne pour recyclage ont vu leur taux de collecte et de recyclage fortement augmenter. Par exemple, le taux de collecte des bouteilles en PET atteint 90 % en Allemagne et en Finlande et 85,5 % en Estonie.

¹⁰⁸ De nombreux responsables de collectivités territoriales ont fait remarquer que l'instauration d'une consigne pour recyclage brouille le message accompagnant l'extension de la consigne de tri qui insiste sur la simplicité du geste de tri : tous les emballages plastiques doivent être jetés dans la poubelle jaune.

¹⁰⁹ Le taux de collecte des bouteilles en PET varie fortement selon les territoires. Il atteint 82 % en Bourgogne-Franche-Comté, 80 % dans les Pays de la Loire, 49 % en Ile-de-France et 44 % dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. D'une manière générale, les résultats sont moins bons en habitat collectif, en milieu touristique et dans le cadre de la consommation nomade. Par conséquent, les grandes agglomérations sont beaucoup moins performantes.

¹¹⁰ Les bouteilles en PET sont les déchets ayant le plus de valeur à la revente. Ainsi à Angers Loire Métropole, les plastiques représentent 15 % des déchets mais 50 % des recettes. En outre, 75 % des charges d'exploitation du centre de tri sont des charges fixes, sans lien direct avec les volumes collectés.

¹¹¹ Selon les informations fournies par l'Ademe, alors que le nombre de bouteilles plastiques de boisson mises sur le marché diminuait depuis 2018, il est reparti à la hausse en 2022.

¹¹² Longtemps défendue exclusivement par les pouvoirs publics et les organisations environnementales, cette idée est désormais partagée par les metteurs sur le marché et les syndicats professionnels tels que Plastics Europe, l'association paneuropéenne des producteurs de matières plastiques. Au-delà du constat sur la nécessité de réduire la consommation de plastiques, se pose toutefois la question des mesures à privilégier pour atteindre cet objectif et de leur mise en œuvre effective. Le rapport précité de Systemic d'avril 2022 estime qu'en 2050, l'économie du plastique pourrait être circulaire à 78 % à travers d'une part la suppression de 30 % des déchets plastiques grâce à la réduction de leur consommation et la substitution du plastique par d'autres matériaux et, d'autre part, un taux de recyclage de 48 % (dont 27 % par recyclage mécanique et 21 % par recyclage chimique). Seuls 9 % des plastiques seraient soit mis en décharge, soit incinérés. Cette étude conforte ainsi la stratégie 3R que la France et l'Europe s'efforcent d'imposer depuis plusieurs années : « Réduire, réemployer, recycler ». À cet égard, la proposition de règlement du Parlement européen et du Conseil relatif aux emballages et aux déchets d'emballages, modifiant le règlement (UE) 2019/1020 et abrogeant la directive 94/62/CE vise à rééquilibrer les efforts à fournir qui étaient jusqu'à présent très concentrés sur le recyclage pour parvenir à une véritable économie circulaire des emballages. Cette proposition insiste sur la nécessité de limiter la production de déchets d'emballages et propose plusieurs dispositions visant à prévenir les déchets, à favoriser la réutilisation des emballages et à lutter contre les emballages inutiles. Au niveau national, les lois AGEC et climat et résilience (loi n° 2021-1104 du 22 août 2021 portant lutte contre le dérèglement climatique et renforcement de la résilience face à ses effets) contiennent des objectifs ambitieux en matière de réduction des emballages plastiques et du réemploi des emballages que le gouvernement doit prendre en compte dans ses décisions stratégiques sur le recyclage pour mener une politique cohérente en faveur d'une économie circulaire du plastique.

¹¹³ Tels que TREE développé par Citeo, Circpack par Veolia ou encore RecyClass par Plastics Recyclers Europe. Il serait souhaitable d'arrêter un standard européen qui établirait des critères de conception pour le recyclage, complétés par une procédure d'évaluation de la recyclabilité. Cela fait partie des enjeux de la proposition de règlement du Parlement

européen et du Conseil relatif aux emballages et aux déchets d'emballages précitée, que la Commission européenne est en train d'élaborer.

¹¹⁴ Conformément à l'article 62 de la loi AGEC, les contributions financières versées par les metteurs sur le marché d'emballages plastiques sont modulées en fonction de la recyclabilité des emballages. Le barème de Citeo prévoit trois niveaux de malus, allant de 10 % de la contribution totale de l'Unité de Vente Consommateur (pour les bouteilles et flacons en PET avec manchon en PETg, PLA ou PS par exemple) à 100 % (pour les bouteilles, flacons et autres emballages en PET opaque avec une charge minérale supérieure à 4 % par exemple). Toutefois, ces tarifs ne semblent pas dissuasifs au regard des gains marketing réalisés par les producteurs grâce à certains emballages non recyclables. Il conviendrait donc soit de les interdire, soit de leur appliquer une taxe à l'instar de celles qu'ont instaurées l'Espagne et l'Italie sur les emballages en plastique à usage unique d'un montant de 0,45 euro par kg.

¹¹⁵ La simplification et l'homogénéisation des formulations présentent plusieurs avantages : elles devraient affranchir le recyclage mécanique des limites techniques liées à une grande hétérogénéité des intrants et favoriser un recyclage en boucle fermée de haute qualité. En outre, la réduction du nombre de flux devrait conduire à une massification plus forte desdits flux, entraîner des économies d'échelle et réduire *in fine* le coût du recyclage.

¹¹⁶ Il convient de remarquer que si la France n'arrive pas à atteindre les objectifs de taux de collecte exigés par l'Union européenne, elle sera contrainte par la nouvelle réglementation européenne à mettre en place un système de consigne pour recyclage.

¹¹⁷ L'amélioration de la collecte passe en effet également par une réduction des déchets à collecter (à travers la suppression des emballages inutiles, la réduction des emballages restants et le développement d'emballages réutilisables) et une amélioration de la qualité de la collecte (à travers la recyclabilité de tous les emballages).

¹¹⁸ La tarification incitative peut néanmoins soulever des problèmes d'acceptabilité auprès de la population et conduire à une augmentation de la fuite des déchets dans l'environnement.

¹¹⁹ L'extension de la consigne de tri n'est opérationnelle sur l'ensemble du territoire que depuis le début de l'année 2023. Il convient donc d'accentuer l'implication des citoyens pour améliorer le geste de tri. Lors de leur précédente étude sur la pollution plastique en 2019-2020, vos rapporteurs avaient constaté qu'une sensibilisation directe des citoyens par des référents déchets au moyen d'entretiens était plus efficace que des campagnes générales d'information, bien qu'elle s'avère plus coûteuse. Il serait donc pertinent que Citeo prenne davantage en charge ces frais de communication. D'une manière générale, il est nécessaire de poursuivre la densification du maillage des équipements à la disposition des habitants, notamment dans les territoires les plus urbanisés. Ainsi, à Paris, la quantité des plastiques par habitant envoyés en incinération est 40 % supérieure aux territoires semi-urbains. Par ailleurs, il existe une marge de progression très importante pour récupérer le gisement des déchets plastiques « consommateurs hors domicile » (évalué à 140 000 tonnes). La loi AGEC a prévu que les coûts afférents à la généralisation d'ici au 1^{er} janvier 2025 de la collecte séparée pour le recyclage des déchets d'emballages pour les produits consommés hors foyer seraient pris en charge par les éco-organismes de la filière emballages ménagers. La consommation hors domicile concerne également des lieux publics et privés qui ne recourent pas au service public de gestion des déchets (gares, aéroports, musées, parcs de loisir, centres commerciaux, etc.). Le nouvel agrément des éco-organismes de la filière des emballages ménagers prévoit un soutien technique et/ou financier des éco-organismes à raison au minimum de 60 000 tonnes par an (tous matériaux confondus). Actuellement, seulement 2 000 tonnes sont collectées hors foyer.

¹²⁰ Qu'il s'agisse du secteur de la construction, des véhicules hors d'usage ou encore du secteur de l'électronique et de l'électrique.

¹²¹ Compte tenu de ces réflexions, il conviendrait de modifier le II de l'article L. 541-1 qui fixe la hiérarchie des modes de traitement des déchets en distinguant le recyclage mécanique et le recyclage chimique pour les déchets ne pouvant pas être recyclés par la voie mécanique. Il pourrait également être précisé que le recyclage chimique favorise en premier lieu les technologies qui présentent l'intérêt environnemental le plus favorable (intérêt qui pourrait être établi sur la base d'analyses du cycle de vie transparentes, documentées et soumises à processus de revue critique)..

¹²² Cf. Hugrel Charlotte, Palluau Magali (Bleu Safran) (2021). Approche « Mass balance » et recyclage chimique des plastiques. Revue des enjeux méthodologiques pour la voie pyrolyse – vapocraquage. Le facteur de conversion permet, au niveau du vapocraqueur, de quantifier le volume de crédits « circulaires » qui peuvent être ensuite attribués à des sortants compte tenu de la quantité d'huile issue de la pyrolyse de déchets plastiques qui entre dans le vapocraqueur. Toutefois, il existe trois façons de calculer l'assiette des produits sortants pris en compte : (1) soit en les prenant tous en compte à l'exception des pertes au sens strict du terme (pertes fugitives et pertes sous forme de coke) : dans ce cas, l'assiette de sortants intègre l'autoconsommation énergétique, les sortants matière destinés à des applications énergétiques et les sortants matière destinés à des sortants matière ; (2) soit en prenant en compte les sortants destinés à des applications énergétiques et les sortants destinés à des applications matière ; (3) soit en prenant en compte les sortants destinés à des applications matière seulement.

¹²³ Il s'agit de la règle d'allocation du contenu en recyclé présent dans les matières entrant dans le vapocraqueur vers les produits sortant du procédé. Les huiles de pyrolyse constituent un intrant secondaire comparativement à du naphta conventionnel. Les vapocraqueurs vont gérer en mélange des intrants et il n'est pas possible d'établir par une mesure physique le contenu recyclé des différents sortants d'un vapocraqueur. Pour pouvoir définir la quantité de matières recyclés, on utilise l'approche « bilan massique » (ou Mass balance) qui consiste à quantifier des crédits auxquels sont rattachés la caractéristique « recyclés » puis de les affecter à certains produits obtenus en sortie du vapocraqueur. Deux méthodes peuvent être utilisées : (1) la méthode « Rolling average » dans laquelle la proportion résultant des produits finaux est calculée en moyenne pour l'ensemble des produits finis ; (2) la « Credit method » dans laquelle les crédits sont attribués

librement entre les sortants, indépendamment de leur teneur réelle en produits recyclés. Cette méthode, qui a la préférence des industriels, leur permet de choisir librement les sortants (éthylène, propylène, butadiène, benzène, etc.) qui bénéficient des crédits recyclés en fonction de la demande du marché. Pour les clients finaux, cela leur permet de s'approvisionner en plastiques monomères certifiés « 100 % recyclés Mass balance », indépendamment de leur contenu réel en recyclé, ce qui est beaucoup plus attractif qu'une revendication consistant en un faible pourcentage de contenu en recyclé.

¹²⁴ Actuellement, l'incorporation de matières recyclées constitue un bonus aussi bien dans les barèmes d'éco-modulation de Citeo que de Re-Fashion. Si l'incorporation de matières recyclées devient la règle, le non-respect de cette obligation doit se transformer en malus dissuasif. Le Royaume-Uni a instauré une taxe sur les plastiques vierges qui oblige les entreprises qui produisent ou importent des emballages contenant moins de 30 % de plastique recyclé à payer une taxe de 200 £ par tonne. L'extension des obligations d'incorporation de matières recyclées doit concerner tous les producteurs pour éviter toute rupture d'égalité de traitement et une concurrence déloyale. Afin d'éviter les fraudes, il conviendra de développer des méthodes solides de traçabilité du contenu recyclé. Dans sa rédaction actuelle, la législation française interdit de *facto* aux produits fabriqués à partir de matières plastiques recyclées par pyrolyse de pouvoir revendiquer un pourcentage de matière plastique recyclée. En effet, la loi impose d'indiquer le pourcentage minimum garanti de matière recyclée dans l'emballage lorsque ce type d'allégation est utilisé. Or, il est impossible de définir, à l'échelle d'un emballage ou d'un produit, la proportion de matière issue du Mass balance effectivement utilisée pour le fabriquer. D'un autre côté, le recyclage chimique par pyrolyse permet de découpler la nature du polymère constitutif des déchets pyrolysés et la nature du polymère recyclé produit. Ainsi, il est possible d'obtenir du PS recyclé à partir de déchets de polyoléfines. La mise sur le marché de résine recyclée peut donc ne pas avoir de lien avec les modalités effectives de la gestion de cette résine lors de sa fin de vie. Cela risque de rendre caduc l'effet d'entraînement attendu entre exigences sur le contenu en recyclé d'un polymère et amélioration de son taux de recyclage. Cf. Hugrel Charlotte, Palluau Magali (2021). Etude précitée.

¹²⁵ Le décret n° 2022-748 du 29 avril 2022 relatif à l'information du consommateur sur les qualités et caractéristiques environnementales des produits générateurs de déchets définit la recyclabilité comme la capacité de recyclage effective des déchets issus de produits identiques ou similaires. La recyclabilité est caractérisée pour ces déchets par :

- la capacité à être efficacement collectés à l'échelle du territoire, via l'accès de la population à des points de collecte de proximité ;
- la capacité à être triés, c'est-à-dire orientés vers les filières de recyclage afin d'être recyclés ;
- l'absence d'éléments ou substances perturbant le tri, le recyclage ou limitant l'utilisation de la matière recyclée ;
- la capacité à ce que la matière recyclée produite par les processus de recyclage mis en œuvre représente plus de 50 % en masse du déchet collecté ;
- la capacité à être recyclés à l'échelle industrielle et en pratique, notamment via une garantie que la qualité de la matière recyclée obtenue est suffisante pour garantir la pérennité des débouchés, et à ce que la filière de recyclage puisse justifier d'une bonne capacité de prise en charge des produits pouvant s'y intégrer.

¹²⁶ En ce qui concerne le recyclage mécanique, il faudra s'assurer que le recyclage des plastiques, et notamment du PET, ne présente pas de risque pour le consommateur en raison d'une concentration des contaminants et des additifs dans les matières recyclées. En ce qui concerne le recyclage chimique, sa légitimité passe par un accès des chercheurs aux données sur les rendements, la gestion des contaminants et le développement d'analyses de cycle de vie validées scientifiquement.

Personnes consultées par ordre alphabétique

M. Luc Avérous, professeur à l'université de Strasbourg.

M. David Azoulay, directeur du programme de santé environnementale au CIEL (Center for International Environmental Law).

Mme Cécile Barrere Tricca, directrice du centre de résultats chimie pour l'industrie et M. AbdelHakim Koudil, responsable du programme recyclage des plastiques à l'IFP Énergies nouvelles.

M. Romain Bentz, directeur délégué affaires publiques France, M. Christophe Rahier, directeur matériaux durables et circularité et M. Christophe Durand, directeur solutions et partenariats de matériaux durables chez Michelin.

Mme Délia Bergonzi, directrice générale adjointe et M. Olivier Vilcot, directeur général du syndicat national des régénérateurs de matières plastiques (SRP).

Mme Flore Berlingen, autrice et experte indépendante, auteure du livre « Le recyclage, le grand enfumage ».

Mme Clara Bermann, responsable affaires publiques & développement durable, M. Vianney Burucoa, chef de projet REP articles de sport et de loisir et Mme Stéphanie Bailly, cheffe de projet REP textile chez Decathlon.

M. Eric Boël, président de la commission développement durable de l'union des industries du textile et dirigeant de l'entreprise Les Tissages de Charlieu, Mme Maud Hardy, directrice générale de Re-fashion et M. Pascal Denizart, directeur général du centre européen des textiles innovants (CETI).

M. Henri Bourgeois Costa, porte-parole de la fondation Tara Océan.

M. Olivier Brette, maître de conférences en sciences économiques, Mme Valérie Massardier, maître de conférences HDR en chimie et ingénierie des matériaux polymère et Mme Nathalie Lazaric, directrice de recherche au CNRS.

Mme Chloé Brumel-Jouan, directrice des relations institutionnelles, juridique et contrôle interne, M. Xavier Lantoinette, directeur de la performance environnementale à Ecosystem.

M. David Buhe, chargé de mission emballage, direction générale de l'environnement, Commission européenne.

M. Manuel Burnand, directeur général et M. Christophe Viant, président de la filière plastiques de Federec.

M. Maricio Camargo, professeur des universités, directeur de l'équipe de recherche sur les processus innovatifs à l'université de Lorraine.

M. Thibault Cantat, directeur de recherche, chef du programme Économie circulaire du carbone au CEA, M. François Legalland, directeur du laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles et les nanomatériaux (LITEN) et M. Richard Laucournet, chef du département des technologies des nouveaux matériaux au LITEN.

M. Bernard Chaize, dirigeant de Chaize Environnement.

Mme Stéphanie Coullon, ingénieure au service environnement de la fédération française du bâtiment.

Mme Hélène Courades, directrice générale de Boissons Rafrâchissantes de France et M. Olivier Larose, directeur emballages chez CCEP-Coca-Cola Europacific Partners.

M. Hervé Corvellec, professeur à l'université de Lund (Suède).

M. Jean-Yves Daclin, directeur général et Mme Véronique Fraigneau, directrice affaires publiques et communication de Plastics Europe France.

M. Sylvain Dagand, président directeur général de Bioval et M. Nicolas Bois, responsable de site de Revalgreen.

M. Olivier Dalle, président d'Environnement Massif Central.

M. Jean-Louis Demois, vice-président d'Angers Loire Métropole, M. Jean-Luc Davy, président de la SPL Anjou Tri Valor, M. Damien Grasset, délégué de Trivalis et M. Erwan Calonnec, directeur général des services de Trivalis.

Mme Muriel Descamp, directrice générale au SYDED du Lot.

M. Christophe Doukhi-de-Boissoudry, président de l'association française des compostables biosourcés et Mme Chloé Jouglas, consultante affaires publiques.

M. Mathieu Durand, maître de conférences à l'université du Mans et Mme Jeanne Pérez, doctorante.

Mme Sophie Duquesne, professeur des universités à Centrale Lille.

M. Nicolas Garnier, délégué général d'Amorce.

M. Jean-François Gerard, enseignant-chercheur, directeur-adjoint scientifique à l'Institut de chimie.

Mme Valérie Goff, directeur polymères et membre du comité de direction raffinage-chimie et M. Bernard Hoffait, directeur des relations institutionnelles de Total.

Mme Nathalie Gontard, directrice de recherche à l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE).

M. Baptiste de la Gournerie, président et M. Slimane Bendjilali, co-fondateur de l'association Utopia.

M. Hervé Guerry, dirigeant de Créastuce, président de la start-up Cycl-add.

M. Sylvain Guinaudie, Président du SMICVAL et M. Yann Herber, directeur de cabinet.

M. Jean Hornain, directeur général, Mme Sophie Génier, directrice du service recyclage et M. Thibault Boucher, conseiller affaires publiques de Citeo.

M. Gilles Istin, directeur général des ventes et de l'innovation et M. Philippe Chanu, directeur des relations publiques et institutionnelles de KNAUF Industries.

M. Nicolas Joly, vice-président Plastics et M. Julien Renvoise, responsable développement durable de Trinseo France.

M. Samuel Just, chef du bureau de la prévention des déchets et de la lutte contre le gaspillage au ministère de la transition écologique et solidaire, direction générale de la prévention des risques.

Mme Catherine Klein, directrice générale et M. Alban Cotard, responsable R&D de Valorplast.

M. Emmanuel Ladent, directeur général et M. Alain Marty, directeur scientifique de Carbios.

M. Thomas Ladreyt, délégué général adjoint et Mme Louana Lamer, chargée de mission textile à Emmaüs France.

M. Khalid Lamnawar, professeur à l'Université de Lyon.

M. Bernard Le Moine, délégué général du comité français des plastiques en agriculture et M. Ronan Vanot, directeur général d'Adivalor.

M. José-Marie Lopez-Cuesta, directeur du centre des matériaux des mines d'Alès.

Mme Stéphanie Lumbers, directrice développement durable de la fédération des entreprises de cosmétiques

M. Marc Madec, directeur développement durable à Polyvia et M. Gilles Dennler, directeur de recherche du centre technique industriel de la plasturgie et des composites.

M. Patrick Maestro, directeur scientifique recherche et innovation, M. Guy-Noël Sauvion, responsable de l'éco-efficacité et M. Sergio Mastroianni, responsable de l'initiative de croissance chez Solvay.

M. Roland Marion, directeur économie circulaire, M. Raphaël Guastavi, chef de service adjoint au service « produits et efficacité matière » et Mme Alice Gueudet, ingénieure plastique à l'Ademe.

Mme Muriel Mercier-Bonin, directrice de recherche à INRAE et Mme Véronique Gayrard, professeur de physiologie.

M. Baptiste Monsaingeon, maître de conférences à l'Université de Reims.

M. Vincent Monteil, directeur de recherche au CNRS.

M. Patrick Morel, directeur recherche et innovation à Kem One.

Mme Lise Nicolas et M. Enzo Muttini, co-fondateurs de Mr et Mme Recyclage.

M. Renaud Nicolaÿ, professeur à l'école supérieure de physique et de chimie industrielles de la Ville de Paris.

M. Jean-François Nogrette, directeur général et M. Benoît Perreau, responsable du pôle marchés et clients à Veolia.

Mme Magali Renaud-Simeon, professeur à l'université de Toulouse, Mme Isabelle André, directrice de recherche au CNRS.

Mme Marion Richard, responsable environnement, veille sanitaire environnementale, groupe Legrand.

M. Nicolas Richard, directeur de Global Recov.

M. Vincent Roucoules, directeur de l'institut des sciences des matériaux de Mulhouse et M. Arnaud Spangenberg, chargé de recherche.

Mme Inari Seppa, Technology Innovation Director & Circular Economy Advocacy Leader et Mme Fatma Sahin, directrice des affaires gouvernementales Europe chez Eastman.

Mme Sophie Sicard, directrice adjointe du développement durable et des affaires institutionnelles, France & Europe chez Paprec.

M. Jérémie Soulestin, professeur à l'institut Mines telecom Lille-Douais.

M. Olivier Teillac, responsable affaires publiques et développement durable de BASF France.

M. Mathieu Tuau, directeur corporate packaging et M. Fabio Brusa, directeur des affaires publiques chez Nestlé.

M. Thierry Vincelot, responsable du département chimie des matériaux et M. Jean-Mario Julien, ingénieur R&D au laboratoire national de métrologie et d'essais.

M. Denis Voinot, professeur à l'Université de Lille.

Mme Anne-Charlotte Wedrychowska, directrice économie circulaire et RSE de la FIEEC (fédération des industries électriques, électroniques et de communication).

Mme Sabine Zariatti, responsable du développement des partenariats industriels et M. Arthur Huin, directeur délégué affaires publiques recyclage et valorisation France chez Suez.

Déplacements le 19 avril 2023

✓ *À l'entreprise EVERÉ*

M. Roland Mouren, vice-président aux déchets de la métropole Aix-Marseille-Provence.

M. Béranger Saltel-Pongy, responsable environnement, méthodes, communication chez Everé.

Mme Mélodie Turelier, chef de service recyclage et valorisation de la métropole Aix-Marseille-Provence.

✓ *À l'entreprise Pellenc ST*

M. Laurent Petit, directeur développement commercial à Pellenc ST.

M. Raphael Josselin, ingénieur en écoconception à Pellenc ST.