



**La complexe équation du  
recyclage des plastiques : un  
impératif écologique et sociétal  
face au défi du passage à l'échelle**

---

E-CUBE STRATEGY CONSULTANTS  
Mars 2025

## Avant-propos

Les plastiques occupent une place essentielle dans nos vies, ayant transformé des secteurs clés comme l'alimentation, la mobilité, l'habillement et la santé. Ces matériaux polyvalents ont permis d'allonger la durée de conservation des aliments, de réduire les coûts de production, d'optimiser les performances industrielles et de soutenir des innovations médicales cruciales. Cependant, leur omniprésence soulève un défi majeur : **seuls 10 % des déchets plastiques sont aujourd'hui recyclés**, laissant planer des risques écologiques et sanitaires préoccupants. **Face à cette urgence, une gestion efficace de leur cycle de vie est devenue incontournable.**

**Le recyclage chimique, en complément des approches mécaniques traditionnelles, offre une réponse prometteuse pour les plastiques complexes ou exigeant une qualité équivalente au matériau vierge.** Bien que cette filière soit encore émergente, elle affiche un potentiel économique et environnemental significatif, porté par des innovations technologiques et une demande croissante sur des marchés stratégiques. Toutefois, sa pérennité dépend de la sécurisation des intrants, de la viabilité économique des projets et de sa capacité à répondre aux exigences croissantes en matière de durabilité. Il s'agit désormais d'un levier indispensable pour construire une économie circulaire des plastiques à la hauteur des enjeux actuels.

Ces évolutions nécessaires vers un modèle circulaire **mobilisent l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeurs**, et les obligent à repenser leurs **positionnements et modèles économiques, en soulevant les questions stratégiques suivantes** :

- Développement de nouveaux marchés, nouvelles voies de valorisation de déchets, création de nouveaux intrants pour des infrastructures industrielles existantes : **quelles opportunités et synergies ces nouvelles filières offrent-elles ?**
- **Quels rôles peuvent et doivent jouer les acteurs de l'écosystème** (investisseurs, facilitateurs de projets, *offtakers* des résines recyclées, fournisseurs d'intrants) **pour permettre l'émergence des filières de recyclage chimique des plastiques ?**
- **Quels sont les risques, stratégies d'atténuation et opportunités de capture de valeur associés à ces positionnements ?**
- **Quels sont les facteurs clés de succès des projets de recyclage chimique innovants ?**
- **Quel est le bon moment pour s'engager dans ces filières**, afin de tirer parti de la croissance de la demande tout en limitant les risques liés au passage à l'échelle industrielle des technologies innovantes (approche de précurseur ou attentiste) ?

Les acteurs de la pétrochimie, les metteurs sur le marché, les recycleurs ou encore les investisseurs professionnels y apporteront des réponses variées, en fonction de leurs **priorités spécifiques** et de leur **capacité à créer des synergies**.

## Résumé Exécutif

**A**

Face à l'urgence écologique et sanitaire posée par la pollution plastique, les législateurs européens cherchent à accélérer la transition vers une économie circulaire en créant un environnement réglementaire incitatif voire contraignant.

- Alors que la **consommation de plastique poursuit sa croissance dynamique**, confirmant son statut de matériau incontournable de notre ère moderne, ses **impacts environnementaux et sanitaires exigent une remise en question profonde du modèle actuel**.
- Pour endiguer ces projections alarmantes, les régulateurs européens multiplient les **législations contraignantes**, créant un **environnement favorable au développement d'opportunités dans le recyclage**.

**B**

Cette dynamique a favorisé l'essor de filières de recyclage chimique des plastiques, offrant une réponse aux limites de la voie mécanique.

- Le recyclage mécanique repose sur des procédés simples et éprouvés, mais présente des limites techniques.
- Le recyclage chimique apparaît comme une **solution complémentaire au recyclage mécanique**, et ce notamment sur les plastiques « hard to recycle » ou dont les débouchés nécessitent une qualité similaire au vierge.

**C**

Malgré l'émergence concrète d'un marché pour certaines applications, des défis majeurs subsistent pour assurer une montée en puissance à grande échelle.

- Ces nouvelles filières sont déjà une **réalité concrète sur certains marchés**, et **d'autres applications pourraient émerger** à moyen terme.
- Néanmoins, même sur ces marchés prometteurs, d'**importants défis** demeurent pour permettre un **véritable « passage à l'échelle »**.

**D**

Dans cet environnement de marché complexe, plusieurs facteurs clés de succès se dégagent pour construire des projets rentables, offrant à la fois des défis et des opportunités aux acteurs qui sauront proposer des réponses innovantes à ces enjeux stratégiques.

- Parmi les principaux facteurs clé de succès, la **sécurisation des intrants et des débouchés** sont essentiels pour la **viabilité des projets industriels de recyclage chimique**.
- Selon leur profil, **les acteurs de l'écosystème** pourront développer **des stratégies exploitant leurs forces pour saisir ces nouvelles opportunités tout en répondant à leurs défis spécifiques**.

**A** Face à l'urgence écologique et sanitaire posée par la pollution plastique, les législateurs européens cherchent à accélérer la transition vers une économie circulaire en créant un environnement réglementaire incitatif voire contraignant.

Alors que la consommation de plastique poursuit sa croissance dynamique, confirmant son statut de matériau incontournable de notre ère moderne, ses impacts environnementaux et sanitaires exigent une remise en question profonde du modèle actuel.

- **Le plastique est devenu un matériau indispensable et omniprésent dans toutes les industries**

Fruit d'une innovation majeure du XXe siècle, le plastique est né de la transformation du naphta, un dérivé du pétrole, en polymères modulables. Ce matériau synthétique, alliant robustesse, légèreté, polyvalence et un coût particulièrement compétitif, s'est rapidement imposé dans tous les secteurs économiques. Aujourd'hui, il est omniprésent : dans les **emballages**, la **construction**, l'**automobile**, l'**électronique**, mais également le **textile**, où il représente environ 60 % des fibres produites<sup>1</sup>.

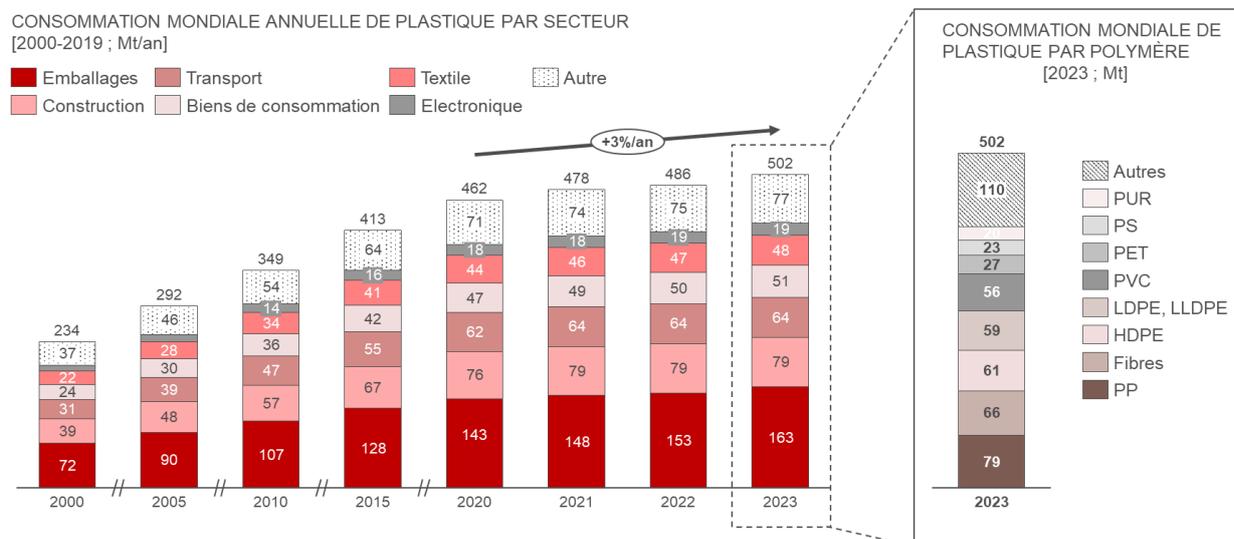


Figure 1 : Consommation mondiale annuelle de plastique par secteur et type de polymère<sup>23</sup>

Depuis le début des années 2000, la production mondiale de plastiques a plus que doublé pour atteindre ~500 Mt, progressant à un rythme plus rapide que celui des autres matériaux stratégiques comme l'acier, l'aluminium ou le ciment. Si la pandémie Covid et les crises ont ralenti la consommation des applications transport et construction, **les plastiques emballages à usage unique** dans la santé, la

<sup>1</sup> Principalement sous forme de Polyester (PET), polyamide ou acrylique

<sup>2</sup> Source : Données calculées par E-CUBE Strategy Consultants, OECD (2022), Plastics Europe (2024)

<sup>3</sup> **PP** : Polypropylène ; **Fibres** : Nylon, acrylique, polyester, etc. ; **HDPE** : Polyéthylène Haute Densité ; **LDPE** : Polyéthylène Basse Densité ; **LLDPE** : Polyéthylène Basse Densité Linéaire ; **PVC** : Polychlorure de Vinyle ; **PET** : Polyéthylène Téréphthalate ; **PS** : Polystyrène ; **PUR** : Polyuréthane ; **Autres** : Revêtements, élastomères, etc.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

vente alimentaire ou le commerce en ligne ont connu une forte croissance et représentent aujourd'hui plus de 30 % du plastique consommé annuellement.

- **La mauvaise gestion des plastiques en fin de vie devient une menace majeure pour les écosystèmes marins et terrestres : sans changement, la pollution plastique pourrait tripler d'ici 2040.**

~2/3 des objets en plastique ont une durée de vie inférieure à 5 ans. Ainsi, inévitablement, la croissance de la consommation s'accompagne d'une production tout aussi dynamique de déchets : **de 156 Mt en 2000, elle s'établit aujourd'hui à plus de 350 Mt/an**. Gourmande en infrastructure de collecte et de tri, la gestion de la fin de vie de ce matériau est également complexe :

- **La famille des plastiques recouvre une très grande diversité de produits** : ~5 300 formulations de polymères différentes, dont ~4 000 associés aux applications emballages<sup>4</sup>.
- **Les plastiques sont généralement mélangés entre eux, ou à d'autres matériaux pour s'adapter aux mieux aux propriétés souhaitées pour leur usage final**. Par exemple, le « polycoton », qui constitue près de 40 % des fibres textiles commercialisées, est issu du mélange entre le polyester (fibre de PET), peu cher et résistant, et le coton.
- **Les plastiques sont également traités et contiennent de nombreux additifs chimiques** – colorants, plastifiants, ignifugeants etc. Plus de 16 000 composés chimiques sont utilisés dans la fabrication des plastiques, pour l'esthétisme (colorants), la durabilité (antioxydant, anti-UV...) ou encore pour la maniabilité (lubrifiant, plastifiant ...) Ces produits, souvent toxiques, sont plus ou moins miscible au polymère, compliquant leur séparation lors du recyclage.

Ainsi, la difficulté du tri et de la séparation des différents matériaux complique considérablement le recyclage. En conséquence, **moins de 10 % des déchets plastiques sont réellement recyclés**, tandis que ~50% aboutissent en décharge légale et ~20 % sont incinérés, libérant alors des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Les 20 % restants échappent aux systèmes de gestion et se retrouvent dans des décharges non contrôlées, sont brûlés à ciel ouvert ou finissent directement dans l'environnement terrestre et aquatique. On estime aujourd'hui que plus de 20 Mt de plastiques sont rejetées chaque année dans la nature.

Les projections pour les décennies à venir sont alarmantes. Si aucune action significative n'est entreprise, les **volumes de déchets plastiques pourraient dépasser 800 Mt/an en 2050 selon l'OCDE**, avec des conséquences écologiques et sanitaires irréversibles.

PROJECTIONS DE VOLUMES DE DÉCHETS PLASTIQUES –SCENARIO DE RÉFÉRENCE  
[2019-2060, Mt/an]

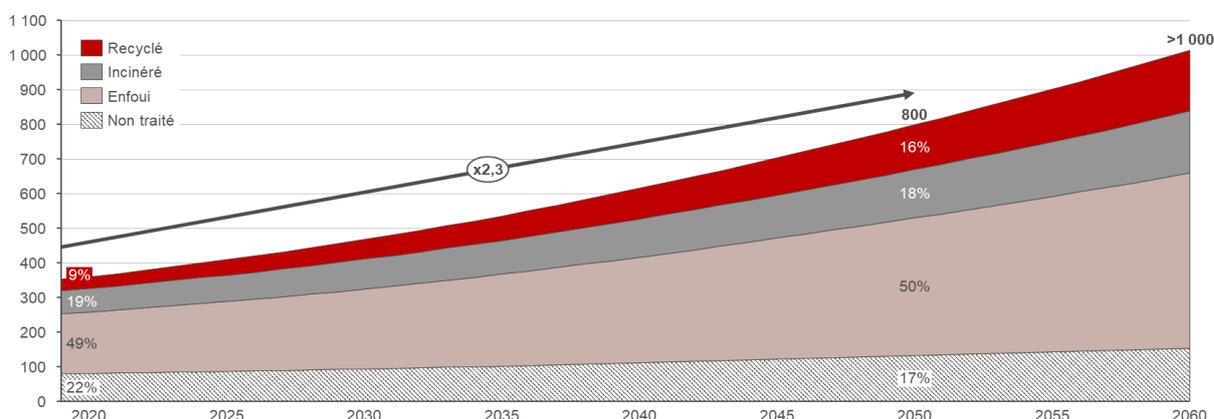


Figure 2 : Evolution projetée des volumes de déchets plastique à 2060<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Le plastique : un poison si pratique, Mars 2024, Alliance Sorbonne Université

<sup>5</sup> OCDE (2022)

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

Pour endiguer ces projections alarmantes, les régulateurs européens multiplient les législations contraignantes, créant un environnement favorable au développement d'opportunités dans le recyclage.

- **Les objectifs d'incorporation de matière recyclée dans les emballages, en stimulant la demande, constituent un levier clé de l'émergence de nouvelles filières de recyclage.**

Parmi les nombreux leviers visant à réduire l'impact environnemental des plastiques, plusieurs initiatives réglementaires se distinguent. Parmi elles, on compte la mise en place progressive d'interdictions sur les plastiques à usage unique, la taxation des déchets plastiques non recyclés, des objectifs renforcés de collecte, de tri et de recyclage, ainsi que le développement des filières de Responsabilité Elargie du Producteur (REP), qui obligent les metteurs sur le marché à financer les infrastructures de gestion des déchets. En complément, **l'un des principaux facteurs de dynamisme du marché est la mise en place d'obligations d'incorporation de matières recyclées.**

Dans le secteur des emballages plastiques, l'Union européenne a adopté en décembre 2024 le règlement sur les emballages et déchets d'emballages (PPWR). Ce texte impose, à partir de 2025, un minimum de 25 % de plastique recyclé dans les bouteilles en PET, avec une cible augmentée à 30 % pour toutes les bouteilles d'ici 2030. Et l'Union Européenne n'est pas seule : aux États-Unis, plusieurs États ont adopté des lois similaires. En Californie, la loi SB54 exige que les contenants plastiques contiennent 30 % de matière recyclée d'ici 2030. Au New Jersey, le Recycled Content Bill (S2515/A4676), adopté en janvier 2022, impose des taux d'incorporation progressifs, allant de 15 % pour les bouteilles plastiques en 2024 à 50 % d'ici 2044. L'Australie, via son National Plastic Plan 2021, impose que les contenants plastiques incluent au moins 20 % de matière recyclée d'ici 2025.

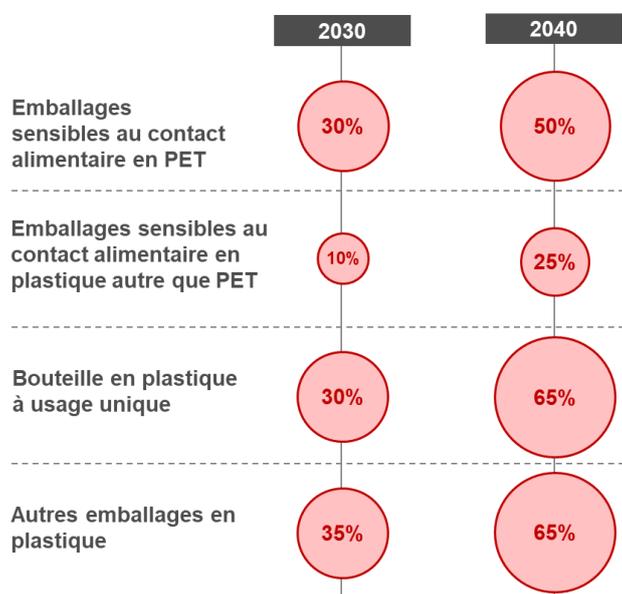


Figure 3 : Objectifs d'incorporation de matière plastique recyclée post-consommation du Règlement européen PPWR (Packaging and Packaging Waste Regulation)<sup>6</sup>

Ces objectifs contraignants **stimulent la demande pour les matières recyclées** et permettent **l'émergence de nouveaux marchés**. Le PET recyclé, longtemps dépendant des fluctuations du prix du PET vierge, devrait connaître une forte croissance avec l'entrée en vigueur des obligations d'incorporation. Un autre exemple de cette dynamique concerne les emballages en LDPE et HDPE,

<sup>6</sup> Règlement (UE) relatif aux emballages et aux déchets d'emballages, modifiant le règlement (UE) 2019/1020 et la directive (UE) 2019/904, et abrogeant la directive 94/62/CE

## **La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle**

pour lesquels le recyclage chimique devient indispensable dès lors qu'ils sont destinés à des applications en contact alimentaire en raison des exigences de qualité. Les obligations d'incorporation dans ce domaine créent une pression croissante sur le marché du recyclage chimique, renforçant les investissements et les capacités pour répondre à cette nouvelle demande.

**D'autres secteurs consommateurs de plastique pourraient connaître des pressions réglementaires similaires.** Dans le secteur textile, les acteurs anticipent l'introduction de réglementations européennes visant à fixer des objectifs d'incorporation de matières recyclées. Ces nouvelles cibles s'inscriraient dans le prolongement de la réglementation *Ecodesign for Sustainable Products Regulation (ESPR)*, en vigueur depuis juillet 2024, qui établit les bases pour des produits plus durables, traçables et circulaires.

**B** Cette dynamique a favorisé l'essor de filières de recyclage chimique des plastiques, offrant une réponse aux limites de la voie mécanique.

## Le recyclage mécanique repose sur des procédés simples et éprouvés, mais présente des limites techniques.

Le recyclage mécanique est la méthode la plus répandue pour le traitement des déchets plastiques. Ce procédé repose sur des étapes simples : les déchets sont collectés, triés, nettoyés, broyés en paillettes ou granulés, puis fondus pour produire de nouveaux matériaux plastiques. Les technologies varient selon les types de plastiques, allant du tri optique pour différencier les polymères aux extrudeuses qui transforment les résidus en matière première réutilisable.

L'Union européenne a su structurer cette filière grâce à des investissements précoces et à une réglementation stricte favorisant la collecte sélective et le tri des déchets. Depuis les années 1990, les directives européennes ont fixé des objectifs croissants de recyclage, entraînant le développement d'infrastructures performantes. En 2022, plus de 30 Mt de déchets plastiques ont été collectés en Europe et ~9 Mt ont été recyclés mécaniquement, soit ~27 %.

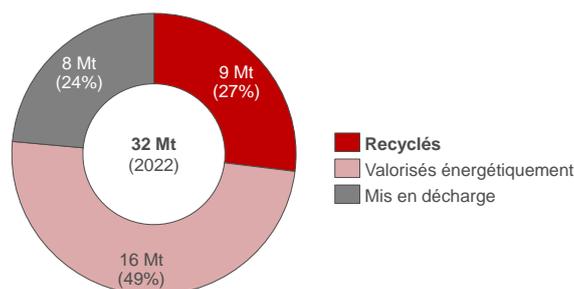


Figure 4 : Répartition par voies de valorisation des déchets post-consommation collectés en Europe (2022)<sup>7</sup>

Bien qu'efficace et développé à l'échelle industrielle, le recyclage mécanique présente des limites qui restreignent son champ d'application :

- **Il ne permet pas de séparer ou éliminer les additifs ou les éléments contaminants.** La présence de ces substances, même en très faible quantité, limite l'usage de la matière recyclée (ex : pour les emballages alimentaires). Un tri amont avec un haut niveau de pureté n'est parfois pas possible technologiquement, ou bien jugé trop coûteux.
- Les **procédés mécaniques peuvent, par leur répétition, dégrader la structure des polymères** et donc leurs propriétés techniques (ex : résistance, transparence etc.) Ce phénomène impose une dépendance structurelle au plastique vierge pour compléter les flux de matière recyclée et maintenir la qualité requise.
- **Certains plastiques restent hors de portée de ce procédé.** Les plastiques multicouches, largement utilisés dans les emballages alimentaires pour leurs propriétés barrières, sont presque impossibles à séparer en composants individuels pour le recyclage. De même, dans le secteur textile les fibres plastiques, comme le polyester, sont fréquemment mélangées à d'autres fibres telles que celles de coton, rendant leur séparation complexe et limitant leur recyclage en boucle fermée.

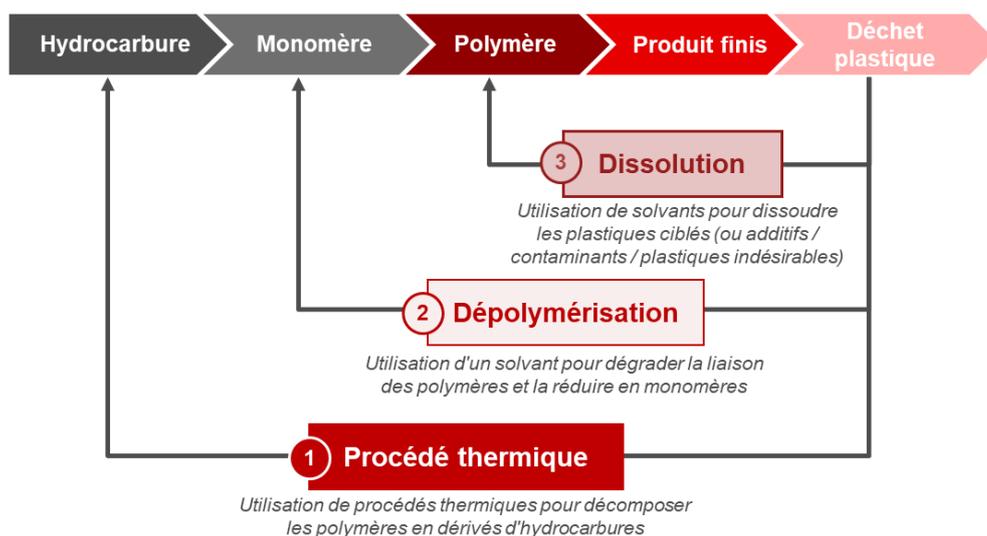
Les technologies de recyclage chimique permettant la décontamination des intrants et n'affectant pas la structure du polymère permettent d'adresser de nombreux gisements jusqu'alors non recyclables.

<sup>7</sup> Plastics Europe

**La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle**

**Le recyclage chimique apparaît comme une solution technologique complémentaire au recyclage mécanique, et ce notamment sur les plastiques « hard to recycle » ou dont les débouchés nécessitent une qualité similaire au vierge.**

Le recyclage chimique peut être décomposé en 3 grandes filières, qui diffèrent par le stade de la molécule plastique auxquelles elles reviennent.



*Figure 5 : Schéma simplifié des familles de technologie de recyclage chimique*

- **Les procédés thermiques** permettent un retour de la molécule à l'état d'hydrocarbure à travers diverses technologies. Parmi elles, la **pyrolyse** est le procédé le plus courant. Elle consiste à chauffer le plastique à haute température en l'absence d'oxygène pour obtenir de l'huile de pyrolyse, utilisée comme carburant ou pour produire à nouveau du plastique. Elle est particulièrement adaptée aux polyoléfines et polystyrènes, et permet de fabriquer un plastique apte au contact alimentaire. La **gazéification** produit un syngaz à partir de l'huile de pyrolyse à très haute température, pouvant ensuite être transformé pour créer du plastique. D'autres technologies, comme l'**hydrocraquage** et le **craquage hydrothermal**, existent mais sont encore peu matures.
- Les **procédés de dépolymérisation** reposent sur l'utilisation d'un solvant ou d'une enzyme, agissant comme catalyseur pour briser les liaisons du polymère et ainsi revenir au stade des monomères de bases. Il existe deux approches de dépolymérisation : l'une utilise des solvants et de la chaleur/pression pour dégrader les polymères. Cette voie présente déjà des usines en fonctionnement mais fait face à un enjeu de compétitivité en raison d'une forte consommation énergétique. L'autre, la dépolymérisation enzymatique, utilise des enzymes à basse température et pression, mais ses conditions strictes freinent son déploiement à grande échelle.
- La **dissolution** repose sur l'utilisation d'un solvant qui interagit spécifiquement avec le polymère ou avec les éléments indésirables (additifs, substances contaminantes, etc.). Ce procédé de séparation sélective isole le polymère, qui peut ensuite être utilisé ou envoyé vers une autre filière de recyclage.

Si l'innovation foisonne, comme l'attestent les nombreuses start-ups que compte le secteur, elle s'accompagne d'une concurrence croissante, d'abord dans l'accès au financement, puis progressivement, sur l'accès aux intrants et débouchés.

*Une analyse détaillée des technologies est proposée en **Annexe**.*

**C** Malgré l'émergence concrète d'un marché pour certaines applications, des défis majeurs subsistent pour assurer une montée en puissance à grande échelle.

Les filières de recyclage chimique sont déjà une réalité concrète sur certains marchés finaux, et d'autres applications pourraient émerger à moyen terme.

- La filière de la pyrolyse des polyoléfinés bénéficie d'une demande soutenue qui devrait rester supérieure à l'offre à moyen terme, garantissant une opportunité de premium pour les porteurs de projets.

L'obligation d'incorporation de matière recyclée dans les plastiques d'emballage constitue une stimulation majeure de la demande en polyoléfinés issues du recyclage. En effet, ces polymères (HDPE, LDPE et PP) constituent ~70 % des emballages plastiques (~15 Mt) dont une part significative est utilisée pour des applications requérant une qualité équivalente au produit vierge (contact alimentaire, produits cosmétiques ou médicaux). Non adressable par le recyclage traditionnel à cause de leur composition en mélange, de leur contamination et de la présence d'additifs, la demande en résines polyoléfinés adaptées aux usages sensibles n'en est pas moins importante et représente une opportunité naturelle pour le recyclage chimique.

La technologie proposée par les acteurs du secteur est la **pyrolyse**. Cette méthode accepte des déchets composés d'au moins 85 % de polyoléfinés, et supporte la présence de PET, PVC ou ABS. Ces flux de déchets sont considérés par les recycleurs traditionnels comme « bas de gamme ». La pyrolyse décompose ces polymères en hydrocarbures, appelés huiles de pyrolyse, qui, après purification, peuvent être directement réintroduits dans les vapocraqueurs de l'industrie pétrochimique. Ce procédé permet de produire des plastiques de qualité équivalente au vierge, répondant ainsi aux exigences des marchés finaux. Cette solution est particulièrement attractive pour les grands groupes pétrochimiques car elle permet une continuité d'usage pour leurs infrastructures de production actuelles<sup>8</sup>.

Les volumes en jeu sont significatifs : le marché potentiel induit par la réglementation européenne est estimé entre 0,8 et 1,5 Mt d'huile de pyrolyse d'ici 2030 et pourrait atteindre 1,8 à 4,3 Mt d'ici 2040. Parallèlement, les capacités cumulées annoncées en Europe avoisinent les 500 kt/an à 2030, pour des capacités installées de ~100 kt/an à fin 2024. Le marché apparaît donc en forte sous-capacité, ce qui se traduit, dès aujourd'hui, par d'importants premiums sur le faible volume d'huile de pyrolyse : entre 1000-1500€/t quand le naphta fossile est vendu à entre 600 et 700€/tonne.

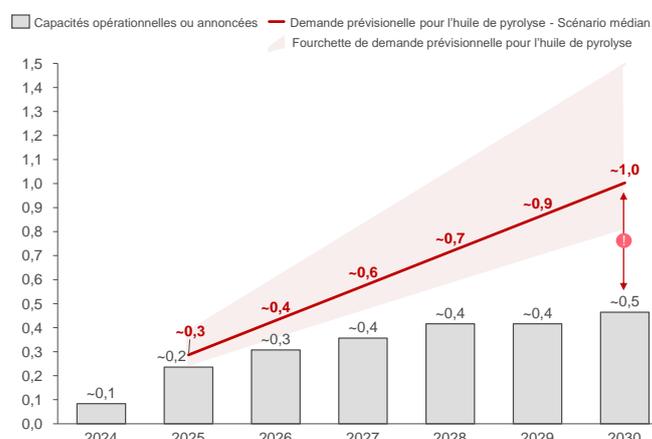


Figure 6 : Demande<sup>9</sup> prévisionnelle et capacité de production projetée pour l'huile de pyrolyse en Europe

<sup>8</sup> Les vapocraqueurs existants peuvent incorporer max 10 % d'huile de pyrolyse (au-delà, une étape de purification est requise).

<sup>9</sup> Estimations E-CUBE, basée sur les données Plastics Europe, Plastics Recyclers Europe, Commission Européenne

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

- **Parmi les autres marchés porteurs, le recyclage des PET hors bouteilles plastiques représente une opportunité prometteuse, initialement limitée aux engagements volontaires, mais pour laquelle les acteurs anticipent l'introduction de contraintes réglementaires.**

Le recyclage chimique représente une opportunité majeure pour la gestion des déchets de PET, hors bouteilles. En Europe, de nombreux développeurs de technologies travaillent activement sur les applications barquette et fibre pour en développer de nouvelles voies de valorisation. **Le secteur textile pourrait notamment devenir un débouché porteur.** D'une part, avec plus de 60% des fibres textiles produites dans le monde issues de matières plastiques<sup>10</sup>, et un taux de valorisation des déchets textiles en Europe de seulement 4 %, la circularité du textile est un enjeu majeur. D'autre part, les acteurs de l'industrie prennent des engagements volontaires ambitieux, tels que ceux portés par l'initiative Textile Exchange, où les plus grands industriels s'engagent à intégrer une part de matières recyclées dans leurs produits. Parallèlement, ils anticipent l'arrivée de réglementations imposant des taux obligatoires d'incorporation de matériaux recyclés.

Contrairement aux emballages au contact de produits alimentaires, l'incorporation de matière recyclée issue du recyclage mécanique n'est pas un obstacle dans les applications textiles. D'ailleurs, une part importante du PET recyclé issu des bouteilles en plastique est déjà consommée par le secteur textile pour produire du polyester. Néanmoins, les futures obligations européennes d'incorporation imposées aux fabricants de bouteilles devraient réorienter ces flux prioritairement vers l'industrie de l'emballage alimentaire. Cette situation pousse les acteurs du textile à envisager un modèle en boucle fermée, où les déchets textiles seraient transformés en nouveaux textiles, requérant les technologies de recyclage chimique. En effet, les fibres de polyester issues des textiles sont souvent mélangées à d'autres matériaux, colorées ou traitées (imperméabilisation, finitions spécifiques), ce qui les rend incompatibles avec le recyclage mécanique traditionnel.

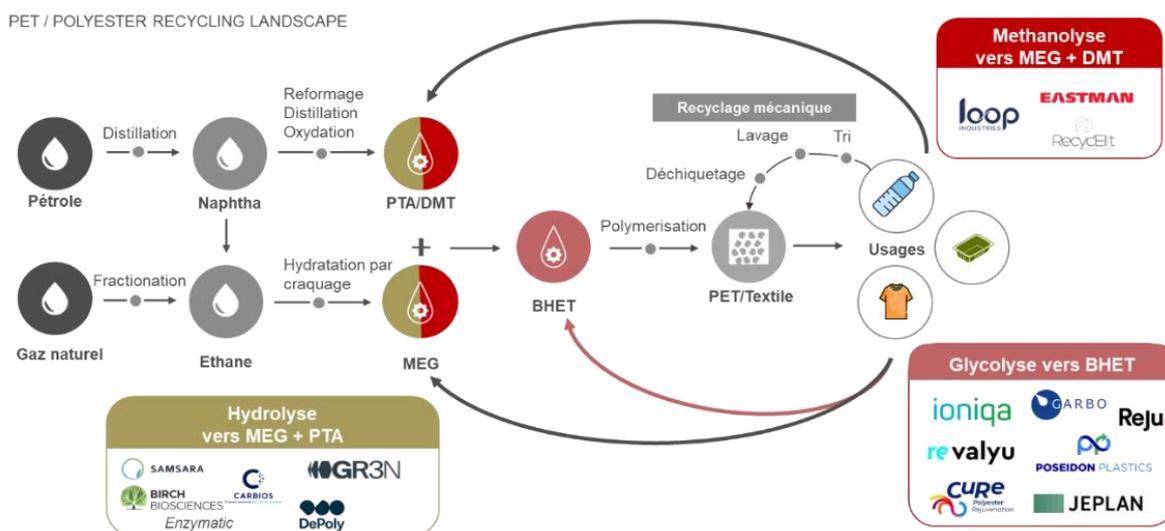


Figure 7 : Schéma de la production et voies de recyclage du PET/Polyester

Bien que le secteur textile soit extrêmement fragmenté (le leader mondial, Inditex, représentant moins de 1 % de la production mondiale de fibres polyester) et dispose d'une faible capacité à absorber les surcoûts des matières recyclées, la pression croissante liée aux enjeux réputationnels et réglementaires pourrait favoriser l'émergence d'un marché prometteur. Les objectifs ambitieux de Textile Exchange prévoient un marché atteignant 6 Mt par an d'ici 2030. Si l'Europe n'est pas un leader de la production textile, elle bénéficie de son rôle central en tant que grand foyer de consommation, offrant un gisement significatif de déchets pour ces applications. Mais certains projets privilégieront une proximité avec les acteurs en aval de la chaîne, tels que le filage et le tissage, majoritairement situés en Asie.

<sup>10</sup> Chiffres 2021, Textile Exchange (~54 % issus de polyester et ~9 % d'autres plastiques comme le nylon ou les polyamides)

## **La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle**

- **Au-delà de ces deux principaux marchés, des modèles économiques rentables pourraient émerger pour d'autres applications à moyen terme.**

Outre la pyrolyse des polyoléfines et le recyclage des mélanges de PET, le recyclage chimique continue de se développer pour d'autres plastiques qui, à ce jour, ne disposent pas de solutions de valorisation matière viables. Parmi ces initiatives, on peut citer le traitement des PVC, dont la présence de chlore complique considérablement le recyclage mécanique, ainsi que celui des polyuréthanes, souvent utilisés dans des applications complexes comme les mousses ou les revêtements.

Ces plastiques posent des défis techniques spécifiques : la décomposition chimique des PVC génère des sous-produits corrosifs et nécessite des étapes de purification coûteuses, tandis que la diversité des formulations des polyuréthanes (rigides, souples, thermoplastiques) limite la standardisation des procédés de recyclage. De plus, les volumes disponibles de ces matériaux sont généralement bien inférieurs à ceux des polyoléfines et du PET, ce qui en fait des marchés de niche. Cependant, ces marchés plus restreints présentent des opportunités attractives, notamment pour des produits recyclés à forte valeur ajoutée ou des flux d'intrants très peu coûteux. Par exemple, le traitement des polyuréthanes pourrait cibler des applications spécialisées ou des composants aux propriétés techniques élevées.

## **Néanmoins, même sur ces marchés principaux, d'importants défis demeurent pour permettre un véritable « passage à l'échelle ».**

Pour s'imposer comme une solution durable et viable à l'échelle industrielle, le recyclage chimique est face à des défis majeurs, en particulier :

- **Le cadre réglementaire et le contexte économique permettront-ils une valorisation de la matière recyclée suffisante pour assurer la pérennité des projets ?**

### ***Quel niveau de pérennité des premiums sur les résines recyclées...***

La demande en produits recyclés est étroitement liée aux incitations réglementaires. En effet, la majorité des procédés actuels de recyclage chimique n'est pas encore compétitive face aux produits issus de matières fossiles. Toutefois, les engagements volontaires des entreprises, souvent motivés par des considérations réputationnelles, ont contribué à stimuler une certaine demande initiale.

Si l'on observe aujourd'hui des premiums sur certains produits recyclés favorables à l'émergence de projets, ces niveaux de valorisation sont principalement liés à la tension créée par une offre très émergente et une demande plus importante liée aux obligations réglementaires et aux engagements volontaires des entreprises. Leur pérennité à long terme est incertaine, en particulier lorsque l'offre augmentera avec la maturation du marché. In fine, la viabilité économique dépendra de la capacité des consommateurs finaux à absorber le surcoût associé aux matières recyclées.

### ***...dans un contexte de concurrence internationale ?***

Stimuler la demande par la mise en place de mandats d'incorporation ne suffit pas pour stimuler une industrie européenne. Bien que la consommation de matières recyclées soit en hausse, la production européenne de plastique recyclé mécanique a, pour la première fois, reculé en 2023, atteignant 10,3 Mt, soit une baisse de ~6 % par rapport à l'année précédente. Ce déclin s'inscrit dans une tendance plus large affectant l'ensemble de la production plastique, qui a diminué de ~8 % sur la même période. Cette situation s'explique principalement par la hausse des coûts énergétiques et la concurrence accrue de pays où les normes environnementales sont nettement moins strictes qu'en Europe.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

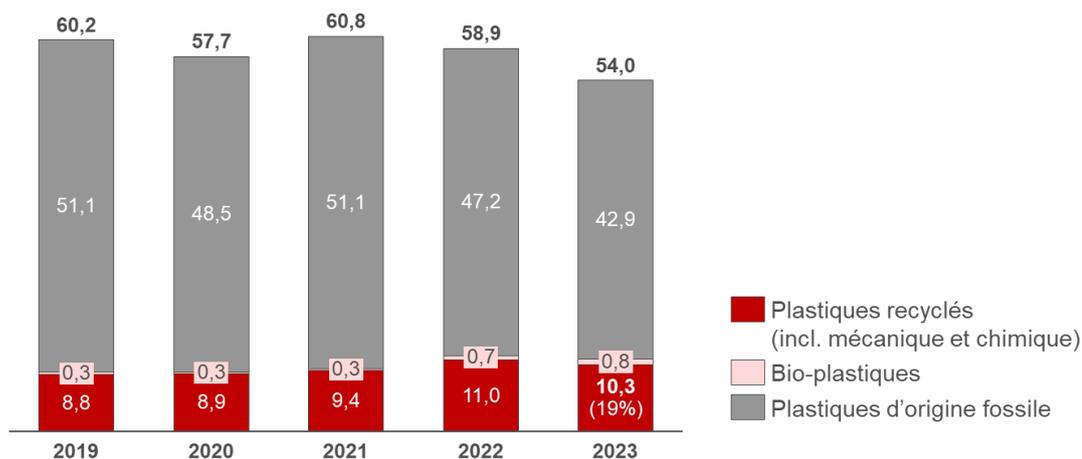


Figure 8 : Production (conversion) de plastiques en Europe par origine (UE+3)<sup>11</sup>

L'Europe demeure leader en matière d'intégration du recyclage dans sa production plastique, avec environ 19 % de ses volumes issus de matières recyclées. Cependant, il est impératif que la réglementation à venir instaure un cadre propice à l'émergence d'une offre locale compétitive et durable, essentielle pour soutenir la réindustrialisation. Pour cela, l'intégration des matières recyclées importées dans les objectifs européens devrait être conditionnée au respect des mêmes exigences de durabilité que celles appliquées sur le territoire de l'Union. Ces « clauses miroirs », prévues dans le règlement européen PPWR, ne seront toutefois pleinement définies qu'en 2026, générant une incertitude préjudiciable pour de nombreux projets industriels. À titre d'exemple, Eastman a récemment annoncé le report de son projet d'usine de recyclage chimique en Normandie, invoquant les risques liés à ce manque de visibilité.

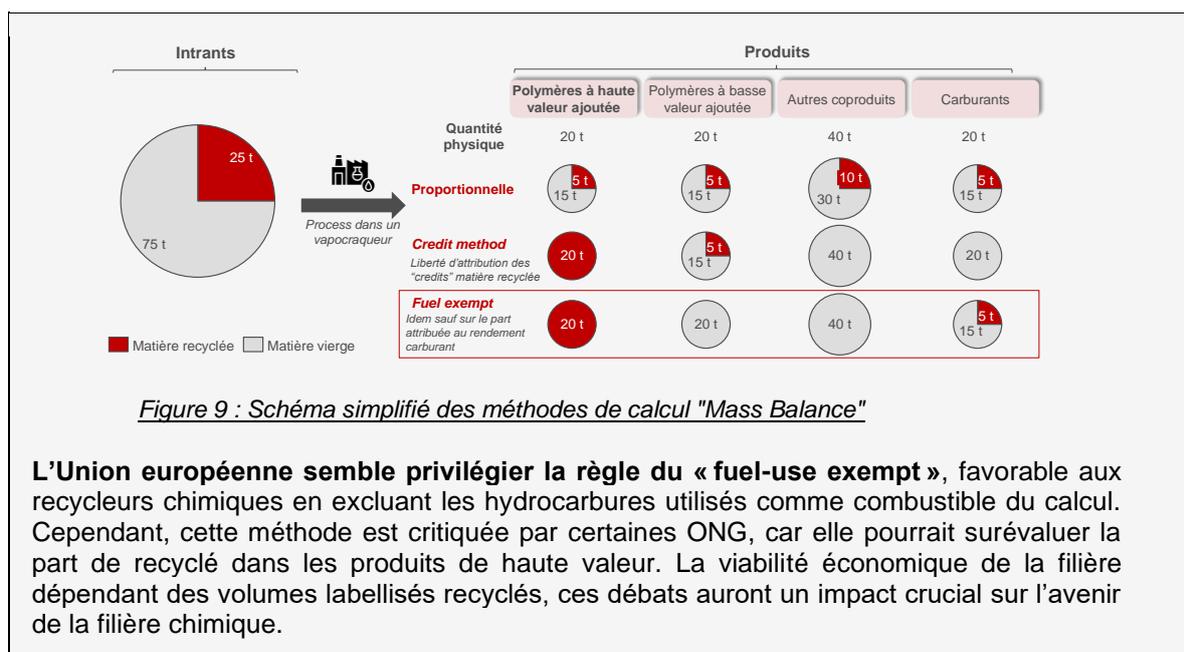
**Focus : Largement débattue dans le cadre des discussions sur le "mass balance", la méthode de calcul du rendement de la pyrolyse constitue un enjeu central pour la rentabilité des projets.**

**Quelle part d'un plastique peut être labellisée comme « recyclée », et donc bénéficier du premium de valorisation associé, lorsqu'il est produit à partir d'un mélange d'huile de pyrolyse et de naphta fossile ?** Si la réponse est simple pour certains matériaux dont le recyclage ne nécessite pas de mélange entre matières fossiles et recyclées, elle devient complexe pour les plastiques issus de procédés chimiques impliquant une conversion en hydrocarbures. Dans le procédé de pyrolyse par exemple, l'huile de pyrolyse est mélangée à du naphta vierge pour compenser sa qualité variable, pour déboucher sur une gamme de sous-produits (monomères, carburants, résidus), rendant impossible une traçabilité physique dans les plastiques recyclés.

Pour surmonter cette difficulté, on utilise le principe du « **mass balance** », qui attribue les contenus recyclés aux produits finis selon un bilan de masse. Cependant, les règles de comptabilisation varient et influencent directement la compétitivité des recycleurs. En effet, **elles déterminent la quantité de matières recyclées pouvant être affectée aux produits de haute qualité, impactant ainsi la valorisation économique des plastiques recyclés.**

<sup>11</sup> Plastic Europe, Facts 2024

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle



- **La filière saura-t-elle maîtriser et réduire ses coûts de production avec sa montée en puissance ?**

### Quels risques de surcoûts liés à l'accès aux intrants ?

La viabilité économique des projets de recyclage chimique à grande échelle dépend de la disponibilité d'intrants plastiques en quantités suffisantes, d'une qualité compatible avec les procédés, et à des coûts maîtrisés. Bien que cet enjeu soit encore secondaire à court terme, les projets étant majoritairement en phase de développement ou de montée en puissance, il deviendra déterminant à mesure que le marché se consolidera et que les capacités industrielles croîtront. La concurrence pour l'accès aux déchets plastiques pourrait alors s'intensifier, notamment si les infrastructures de collecte et de tri n'évoluent pas en parallèle. Aujourd'hui, les projets s'appuient souvent sur des déchets post-industriels, qui présentent des flux concentrés et une qualité homogène. Cependant, pour accompagner une montée en capacité industrielle, il sera indispensable d'intégrer des déchets post-consommation, plus dispersés et de qualité variable, ce qui rendra l'approvisionnement plus complexe.

### Quelles perspectives d'optimisation des coûts de production ?

La baisse des coûts sera clé pour assurer la compétitivité de la filière du recyclage chimique des plastiques. Elle passera en grande partie par le passage à l'échelle industrielle. À mesure que les capacités de production augmentent, les économies d'échelle sur les CAPEX deviendront possibles, grâce à une meilleure répartition des coûts fixes liés aux infrastructures et équipements sur des volumes de production plus importants. De plus, le passage à l'échelle permettra également de réduire les OPEX en optimisant les processus opérationnels et énergétiques, et en favorisant la négociation de contrats d'approvisionnement plus avantageux sur les intrants plastiques, les consommables (catalyseurs, solvants) et l'énergie. Ces gains seront essentiels pour rapprocher les coûts de production des produits recyclés de ceux des plastiques vierges.

- **Les solutions de financement seront-elles au rendez-vous ?**

Ce secteur se caractérise par un **paradoxe classique** du développement de technologies industrielles :

- Le développement des technologies matures et industrialisables nécessite des investissements très significatifs, et ce, dès l'étape de R&D et de construction des unités pilotes.
- Les investisseurs capables de financer des niveaux de CAPEX, qui relève plus du financement d'infrastructure que de tickets classiques du Capital risque, exigent des niveaux de maturité technologique importants.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

Or les **besoins d'investissement dans des capacités de traitement pour le recyclage chimique sont significatifs**. Selon Plastics Europe, l'industrie prévoit une production d'environ 3,4 Mt/an de résine recyclée issue du recyclage chimique d'ici à 2030. Les coûts d'investissement (CAPEX) par tonne de production varient considérablement : environ 3 M€/t pour des technologies comme la pyrolyse, et jusqu'à plus de 6 M€/t pour des solutions dédiées aux plastiques PET difficiles à recycler. Ainsi, les besoins d'investissement total pour 2030 sont estimés entre 10 et 15 Md€, uniquement pour la partie recyclage.

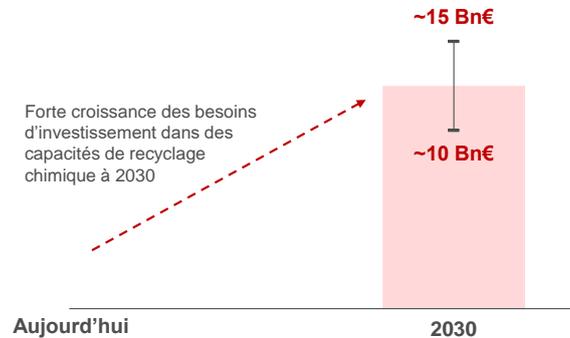


Figure 10 : Estimation des besoins cumulés d'investissement à 2030 dans le recyclage chimique en Europe

À cela s'ajoutent les besoins en capital pour développer les infrastructures en amont, ainsi qu'en aval, notamment pour les unités de purification des huiles de pyrolyse par hydrotraitement.

À noter que des modèles d'affaires multiples et des stratégies de développement technologique réduisant les besoins capitalistiques sont développés par certains développeurs de technologie (ex : modèles de vente de licence de technologie, développement des unités pilote sur des sites d'industriels chimiques, avec système de péage pour l'usage de leurs infrastructures...).

### Les filières sauront-elles démontrer un bilan environnemental systématiquement vertueux ?

Si le recyclage chimique réduit sans conteste la consommation de matières fossiles et permet de détourner les déchets plastiques de la décharge ou de l'incinération, ses performances en matière d'empreinte carbone suscitent des interrogations. Ces technologies nécessitent souvent d'importantes quantités d'énergie, ce qui pèse sur leur bilan en gaz à effet de serre (GES). Par ailleurs, certains produits issus du recyclage chimique nécessitent des étapes avales (comme le vapocraquage et la polymérisation) dont la complexité et l'intensité énergétique augmentent également leur impact carbone. Pour la pyrolyse, en particulier, le rendement matière reste relativement faible, autour de 60 %, en raison de la production de gaz résiduels et de char au cours du processus.

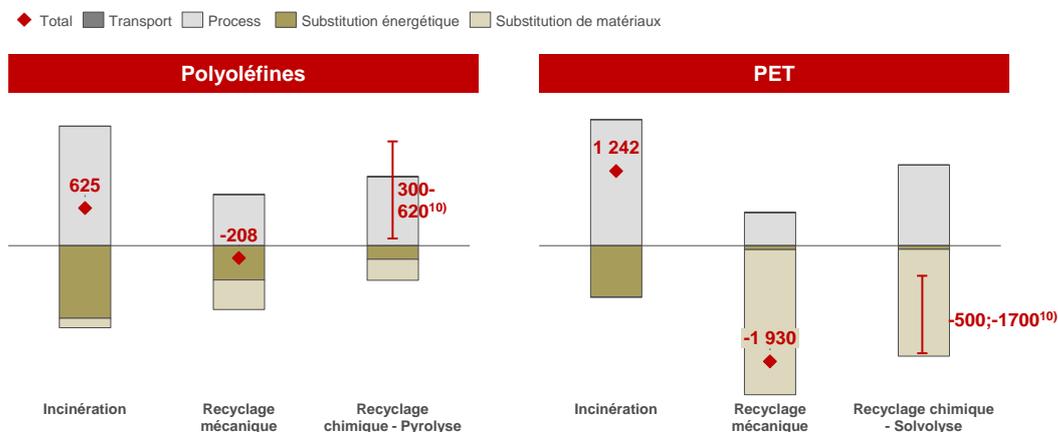


Figure 11: Analyse de cycle de vie<sup>12</sup> pour différentes technologies de recyclage des déchets

<sup>12</sup> JRC Technical report, Environmental and economic assessment of plastic waste recycling, 2023. Substitution d'énergie = production de chaleur / électricité ou carburant. Périmètre d'analyse intégrant du transport du déchet jusqu'au recyclage.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

### Ex. de voies explorées pour réduire l'empreinte carbone des méthodes de recyclage chimique

- **Valorisation des co-produits** : de nombreux procédés de recyclage chimique génèrent des co-produits ou des déchets. Leur réutilisation au sein du processus de recyclage, ou leur valorisation dans d'autres débouchés, peut à la fois améliorer le bilan carbone et renforcer la rentabilité économique du procédé. À titre d'exemple, le char peut être utilisé dans la production de combustibles solides de récupération (CSR), tandis que les gaz résiduels peuvent parfois alimenter la production de chaleur (limitées à ce jour).
- **Approches locales** : favoriser les circuits courts pour l'approvisionnement en déchets limite les distances de transport, réduisant ainsi l'empreinte carbone. De même, localiser les débouchés finaux à proximité des unités de recyclage optimise les coûts logistiques et environnementaux.
- **Solvants et catalyseurs réutilisables ou à faible impact carbone** : l'utilisation de solvants et de catalyseurs réutilisables, facilement traitables, ou présentant un faible impact environnemental est une piste privilégiée par de nombreux acteurs.
- **Gains d'efficacité énergétique, ou utilisation d'énergie bas carbone**
- ....

**D**

Dans cet environnement de marché complexe, plusieurs facteurs clés de succès se dégagent pour construire des projets rentables, offrant des défis mais aussi des opportunités aux acteurs qui sauront proposer des réponses innovantes à ces enjeux stratégiques.

Parmi les principaux facteurs clé de succès, la sécurisation des intrants et des débouchés sont essentiels pour la viabilité des projets industriels de recyclage chimique.

- **Quelles stratégies pour sécuriser les intrants ?** Plusieurs stratégies de sécurisation des volumes, prix et qualité des intrants s'observent sur le marché.

**1. Sécurisation de l'approvisionnement via des partenariats et contrats long terme :**

De nombreux industriels multiplient les partenariats et accords d'approvisionnement pour garantir un flux constant de matières premières. Ceux-ci impliquent souvent l'offtaker de la résine recyclée.

Gestionnaire de déchets (Collecte et tri et pré-traitement)	Recycleur chimique / Porteur de projet	Partenaire <i>offtaker</i> de la résine recyclée	Type d'accord de sécurisation intrants
 Collecteur de déchet  Collecte et tri des déchets (contrat de 15kt/a de hard to recycle PET)	 Développeur d'unités de recyclage chimique (projet en France sur les PET)		05/2024 : Signature d'un contrat long-terme d'approvisionnement en déchets intrants PET pour l'unité de recyclage chimique de PET en France
 Collecte et tri des déchets plastiques	 Développeur d'une unité hydrothermal en UK, Teesside(20kt/a)		05/2024 : Signature d'un accord d'approvisionnement en déchets intrants pour l'unité recyclage chimique ouverte en octobre 2023
 Tri des déchets plastiques (unité de 80kt/a prévu pour 2025)	 Développeur d'unités de pyrolyse notamment en AU	 Pétrochimiste, <i>offtaker</i> de l'huile de pyrolyse	04/2024 : Signature d'un contrat long-terme d'approvisionnement en déchets intrants pour l'unité de pyrolyse ReOil (Autriche)
 Collecte et tri des déchets plastiques (contrat de 75kt/a de hard to recycle PET)	 Développeur d'unités de recyclage chimique (hydrocracking)		02/2024 : Signature d'un contrat long-terme d'approvisionnement en déchets intrants la future unité de cracking thermique de Clariter en PL
 Collecteur de déchet	 Tri déchet post consommation de 25 kt/a)	 Développeur d'une unité pyrolyse en NL	 Pétrochimiste, <i>offtaker</i> de l'huile de pyrolyse
 Tri des déchets plastiques (contrat de 20kt/a de hard to recycle PET)	 Développeur d'unités de recyclage chimique (projet en France sur les PET – 160kt/a)		09/2022 : Signature d'un contrat long-terme d'approvisionnement en déchets intrants PET pour l'unité de recyclage chimique de PET en France (projet reporté selon annonce 2024)

Figure 12 : Exemples de contrats et annonces récentes de partenariats en Europe<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Le drapeau indique la localisation de l'usine existante ou en projet.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

### 2. L'intégration verticale avec des prises de participation à l'amont de la chaîne :

Plusieurs acteurs ont entrepris de s'investir capitalistiquement dans le développement amont de la filière, via différents biais : l'entrée au capital, l'investissement dans des projets de capacité de tri, ou la création de JV. Il s'agit souvent des grands groupes industriels consommateurs de la résine recyclée ou metteurs sur le marché qui disposent des capacités financières.

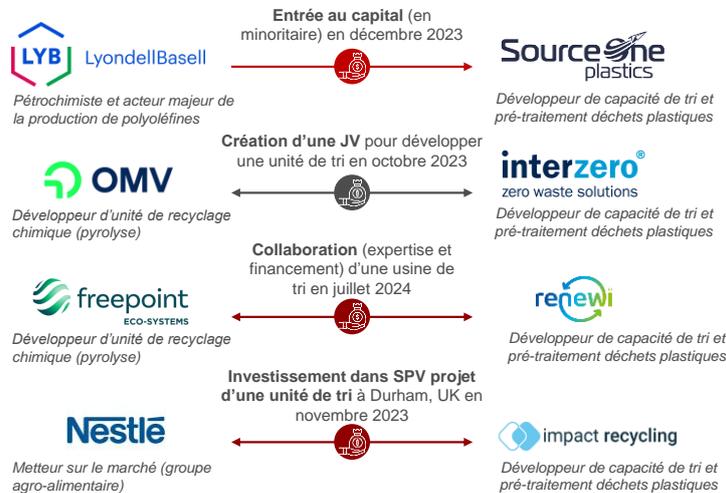


Figure 13 : Exemples de stratégies d'investissement / collaboration récentes dans des nouvelles capacités de tri

A noter que, au-delà des investissements directs dans la filière amont tri et collecte, l'investissement dans des technologies facilitantes, comme les trieurs optiques et modèle IA de reconnaissance des déchets, sont aussi accessibles à ces acteurs investisseurs.

### 3. La colocalisation avec des hubs de recyclage ou les stratégies modulaires pour se rapprocher des gisements de déchets :

Installer les unités de recyclage chimique à proximité des infrastructures de collecte et de tri permet de réduire les coûts logistiques et d'accéder à des flux plus diversifiés de déchets.



Figure 14 : Exemples d'acteurs ayant une approche modulaire ou hub pour assurer un accès au gisement de déchets

- **Quelles stratégies pour sécuriser les débouchés ?** Pour sécuriser le devenir de la résine recyclée, les développeurs de projets activent plusieurs leviers :

#### 1. Mise en place de contrats sécurisant les ventes et limitant les expositions aux volatilités des coûts variables :

Ces contrats se multiplient et assurent un débouché long terme pour le produit du recyclage, renforçant ainsi la stabilité économique des projets. Ils cherchent à limiter l'exposition du projet aux coûts variables majeurs, tels que les intrants ou l'énergie.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

Recycleur chimique / Porteur de projet	Partenaire <i>offtakeur</i> de la résine recyclée	Détail des accords
		► 03/2024 : Contrat de vente des débouchés de l'unité de pyrolyse (20kt/a intrant) de Teesside
		► 03/2024 : Contrat de vente de 65kt de Pyoil de son unité au US
		► 02/2023 : Contrat de vente des débouchés de l'unité de pyrolyse (24kt/a PyOil) sur 10 ans
		► 11/2022 : Contrat de vente de 160kt PET recyclé chimiquement dans son usine au US
		► 11/2022 : Contrat de vente des débouchés de l'unité de pyrolyse (33kt/a intrant) espagnole
		► 05/2022 : Contrat de vente de PET recyclé chimiquement à Danone
		► 10/2021 : Contrat de vente des débouchés de l'unité de pyrolyse (44kt/a intrant) à Rotterdam

Figure 15 : Exemples de contrat de vente de résine plastique recyclée chimiquement

A noter qu'en phase de lancement d'une première unité industrielle (FOAK – First of a kind), il est important d'intégrer des clauses couvrant les risques de retards, indisponibilité des installations etc. Un engagement de volume peut s'avérer critique pour des usines en phase de montée en puissance, face à des risques opérationnels forts.

### 2. Ciblage des marchés avec fortes contraintes réglementaires ou niches à forte valeur ajoutée :

Le ciblage des marchés les plus porteurs constitue également un enjeu clé – en particulier :

- Les marchés portés par des réglementations fortes, et donc une préférence pour les résines dont la demande est directement stimulée par des obligations réglementaires telles que les quotas de contenu recyclé.
- Les marchés de niche à forte valeur ajoutée, comme les emballages de luxe ou les produits techniques, permettant de bénéficier de marges plus élevées grâce à l'acceptation d'un premium par les consommateurs.
- Certains clients au sein de plus gros marchés développent spécifiquement des stratégies de marque axées sur le recyclage (ex : modèle de « closed loop » dans le secteur textile polyester).

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

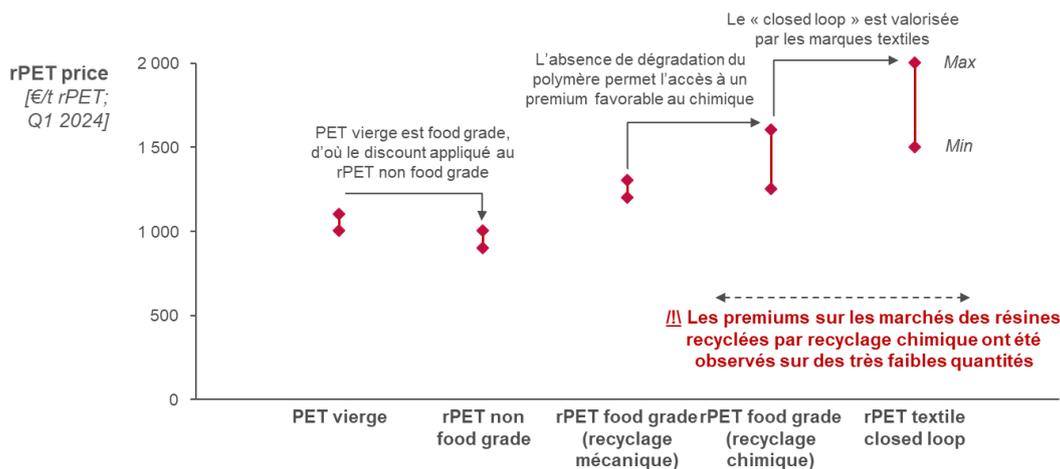


Figure 16 : Exemple de différences de valorisation selon intrants / débouchés / méthode de recyclage sur le marché des PET / Polyester (Données Q1-Q2 2024)

Selon leur profil, les acteurs de l'écosystème pourront développer des stratégies exploitant leurs forces pour saisir ces nouvelles opportunités tout en répondant à leurs défis spécifiques.

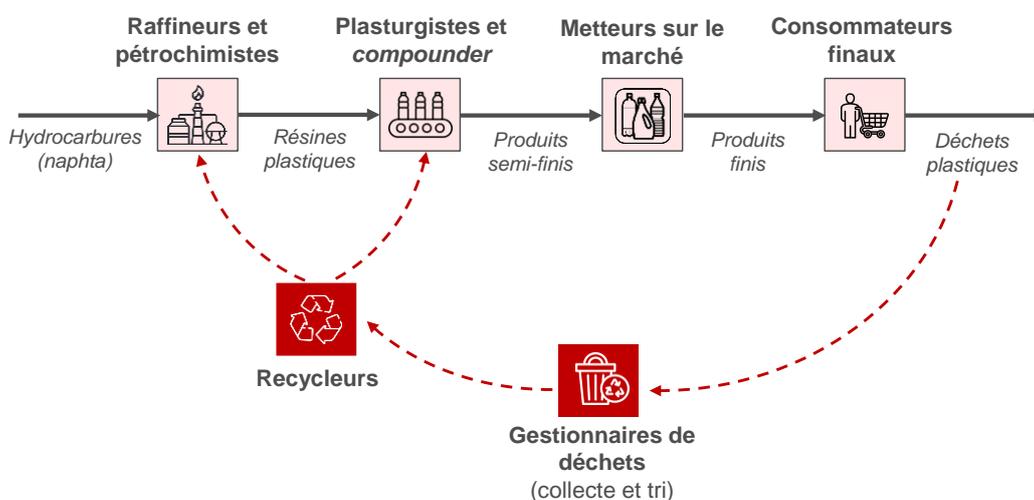


Figure 17 : Chaîne de valeurs simplifiée du plastique

La chaîne de valeur du plastique et de la gestion de sa fin de vie intègre une diversité d'acteur :

- En amont de la chaîne, les **pétrochimistes se trouvent au cœur des transformations qui redéfinissent le secteur du plastique**. Ils jouent un rôle central dans la chaîne de valeur des plastiques en convertissant des matières premières comme le naphta, issu du raffinage pétrolier, en résines plastiques utilisées dans une multitude d'applications industrielles et de consommation.
- Les plasturgistes et compounders** utilisent des processus tels que l'injection, l'extrusion, ou le soufflage pour produire des objets en plastique adaptés aux besoins spécifiques de leurs clients, qu'il s'agisse d'emballages, de pièces automobiles, de produits électroniques, ou encore de dispositifs médicaux.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

- Les **metteurs sur le marché** sont les acteurs commercialisant les produits finis et donc ceux directement impactés par les réglementations d'incorporation de résines recyclées. Sur les marchés B2C ils sont particulièrement soumis à des enjeux réputationnels sur leur empreinte environnementale.
- Le rôle des acteurs de la **collecte et du tri** est de développer des infrastructures de collecte séparée et de tri des plastiques, en s'adaptant à des exigences croissantes de ségrégation et traitement des déchets. Ayant la maîtrise de l'intrant, les acteurs de la collecte et du tri des déchets plastiques détiennent un positionnement stratégique clé.
- Les **recycleurs, mécaniques ou chimiques**, sont des acteurs développant des capacités de valorisation matières des flux plastiques. De nombreux acteurs, allant des PME innovantes aux grands groupes industriels, développent des technologies de recyclage avancées pour répondre aux enjeux que pose la pollution plastique.

Ces acteurs ont **des enjeux spécifiques relatifs au développement des filières de recyclage**, ainsi que **des forces sur lesquelles capitaliser**.

	Principaux enjeux relatifs au recyclage	Exemples de forces à mobiliser
 <b>PETROCHIMISTES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sécuriser des volumes issus du recyclage pour alimenter leurs infrastructures existantes (notamment vaporeformage)</li> <li>▪ Répondre à la demande croissante de résine recyclée à qualité similaire au produit vierge</li> <li>▪ Capturer une part de la valeur créée par ces nouvelles filières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Connaissance fine des marchés avals, fonctionnement et parties prenantes</li> <li>▪ Familiarité avec certains procédés de traitement chimique, capacité à apporter un soutien technique aux start-ups</li> <li>▪ Capacité de financement</li> <li>▪ (Détection de foncier pour projet pilote)</li> </ul>
 <b>PLASTURGISTES ET COMPOUNDERS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faciliter le développement de ces filières pour assurer un volume de produit sur le marché</li> <li>▪ Permettre des nouvelles voies de valorisation de ses déchets post industriels (rebus, chutes etc.)</li> <li>▪ Capturer une part de la valeur créée par ces nouvelles filières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacité de mise en relation avec ses fournisseurs, intégration facilitée dans la chaîne de valeurs</li> <li>▪ Accès à des flux d'intrant (notamment ses propres déchets post industriels)</li> <li>▪ (Détection de foncier pour projet pilote)</li> </ul>
 <b>METTEURS SUR LE MARCHÉ</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Faciliter le développement de ces filières pour assurer un volume de produit sur le marché afin de se mettre en conformité réglementaire</li> <li>▪ Permettre des nouvelles voies de valorisation de ses déchets post industriels (rebus, chutes de ses clients (pérennité du produit lui-même)</li> <li>▪ Atteindre leurs objectifs de décarbonation en intégrant des résines recyclées</li> <li>▪ Capturer une part de la valeur créée par ces nouvelles filières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Capacité de mise en relation avec ses fournisseurs, intégration facilitée dans la chaîne de valeurs</li> <li>▪ Accès à des flux d'intrant (notamment ses propres déchets post industriels)</li> <li>▪ En tant qu'offtaker final, capacité à apporter un débouché pour sécuriser des projets</li> </ul>
 <b>GESTIONNAIRES DE DECHET</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permettre l'émergence de filière présentant une meilleure valorisation des déchets</li> <li>▪ Valoriser le positionnement stratégique de fournisseur d'intrants aux recycleurs</li> <li>▪ Permettre de réduire la part non valorisée, envoyée en incinération</li> <li>▪ Capturer une part de la valeur créée par ces nouvelles filières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Accès direct à l'intrant (le déchet) avec contrôle de sa qualité</li> <li>▪ Capacité d'arbitrage entre le recyclage / la valorisation énergétique etc.</li> <li>▪ Connaissance des filières de recyclage et parties prenantes</li> </ul>
 <b>RECYCLEURS MECANIKES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permettre l'émergence de filière permettant la valorisation de déchets, qui aujourd'hui partent en incinération</li> <li>▪ S'investir dans des filières qui permettent d'atteindre de nouveaux marchés plus rémunérateurs</li> <li>▪ Capturer une part de la valeur créée par ces nouvelles filières</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Connaissance des filières de recyclage et parties prenantes</li> <li>▪ Capacité à combiner recyclage chimique et mécanique pour actionner des synergies (et des possibilités d'arbitrage entre les filières selon état des marchés)</li> </ul>

Figure 18 : Résumé des principaux enjeux et forces de acteurs de la chaîne de valeurs

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

- **Plusieurs modalités d'intervention dans la filière sont accessibles aux acteurs selon leurs profils et stratégies**

Au côté des **investisseurs professionnels, publics ou privés**, des fonds de capital-risque aux fonds d'infrastructures, ces acteurs peuvent agir de différentes manières pour permettre l'émergence de ces nouveaux marchés et saisir les opportunités associées :

- Apport de financement direct ou indirect ;
- Collaboration R&D avec les développeurs de technologies ;
- Engagement dans des contrats long terme sécurisant les intrants ou les débouchés ;
- Développement d'une nouvelle ligne d'activité autour du recyclage ;
- ...

Selon des stratégies propres à chacun, l'apport de financement peut être :

- **Directement dans le capital des sociétés innovantes** - ex : Décathlon a investi en 2024 dans Recyc'Elite, une start-up de recyclage des textiles en polyester.
- **Dans des projets de développement de capacité de production** - ex : TotalEnergies, Plastic Energy et Freepoint ont investi ensemble, via JV, dans une unité de recyclage chimique au Texas.
- De manière indirecte, en **structurant un fonds d'investissement dédié** – ex : BASF Venture capital a investi en 2023 dans la start-up suisse DePoly (dépolymérisation de PET).
- En s'engageant comme **souscripteurs dans un fonds spécialisé** - ex : Lyondellbasell a abondé dans le fonds de Infinity Recycling, dédié au financement de start-ups du recyclage).

**Conclusions sur les grands enjeux à court terme pour les principaux acteurs du marché :**

Pour saisir ces **opportunités tout en maîtrisant les risques opérationnels, financiers, technologiques et réglementaires**, les acteurs de l'écosystème devront élaborer des **stratégies basées sur les analyses et actions suivantes** :

**Metteurs en marché / industriels en aval intégrant de la matière recyclée :**

- Mettre en place une veille réglementaire et marchés afin d'anticiper les évolutions, évaluer la capacité à valoriser la matière recyclée sur l'ensemble de ses marchés finaux ;
- Développer une stratégie de sécurisation « amont », pouvant inclure un investissement en R&D, la création de véhicules d'investissement *corporate* ou projet, d'autres types de partenariats, ou le développement en propre de nouvelles activités autour du recyclage ;
- Mettre en place des contrats-cadres avec des fournisseurs pour garantir l'approvisionnement en matière recyclée ;
- Optimiser la valorisation des déchets générés par ses activités (post-industriels) ou par ses clients ;
- ...

**Porteurs de projets :**

- Analyser les opportunités *business* en elles-mêmes pour n'investir que dans les projets profitables ; considérer les synergies avec l'activité historique comme des *upsides* ;
- Rechercher des financements et structurer financièrement le projet ;
- Sécuriser des contrats clés pour les intrants et/ou les débouchés ;
- Identifier les fournisseurs de technologies, assurer les due diligences, développer les modèles de partenariats ;
- ...

**Financeurs / investisseurs :**

- Développer les thèses d'investissement pertinentes / cohérentes et structurer les véhicules d'investissement adéquats ;
- Développer une stratégie de gestion des risques (foisonnement de projets et de technologies, choix des marchés finaux et des technologies etc.) conforme au positionnement d'investisseur (Venture Capital, infrastructure etc.)
- Mettre en place une veille continue pour identifier les acteurs et projets les plus prometteurs ;
- Analyser les opportunités au cas par cas dans le cadre de due diligences en tenant compte des enjeux technologiques et des dynamiques contrastées sur les marchés finaux (par typologies de matières, par géographies etc.) ;
- ...

## X ANNEXE : Détails des procédés de recyclage chimique

1. Les **procédés thermiques** permettent un retour de la molécule à l'état d'hydrocarbure à travers diverses technologies.

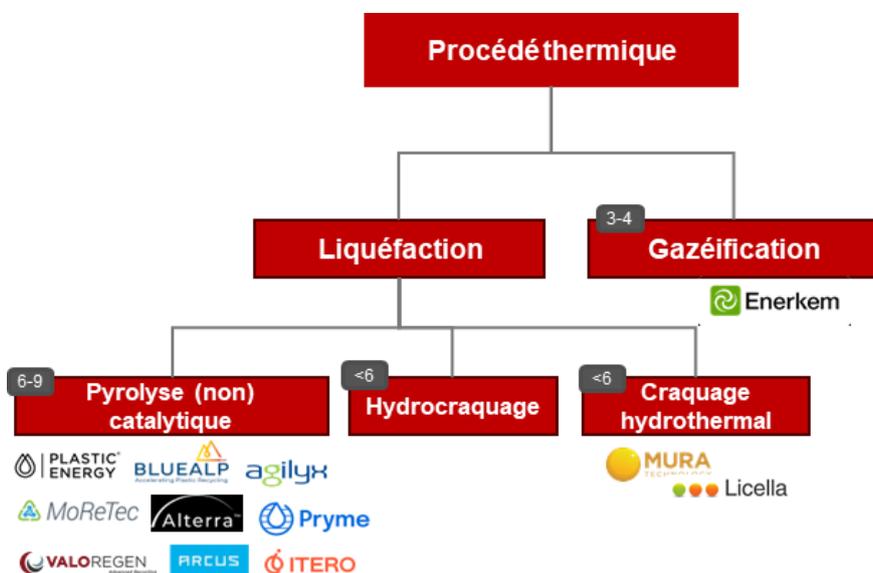


Figure 19 : Panorama des technologies thermique de recyclage chimique, TRL et liste non exhaustive d'acteurs

La **pyrolyse**, le procédé le plus répandu à ce jour, consiste à chauffer le plastique à relativement haute température (300-800°C) en l'absence d'oxygène (potentiellement en présence d'un catalyseur) afin d'obtenir de l'huile de pyrolyse, qui est un mélange de chaînes carbonées utilisables directement en tant que carburant ou traitables pour être utilisées dans les vapocraqueurs afin de produire à nouveau du plastique. Cette technologie s'adresse aux polyoléfines et aux polystyrènes, et possède l'avantage de produire un plastique apte au contact alimentaire, ainsi que d'être plus tolérantes sur la pureté du flux d'intrants. Cependant, de nombreux enjeux restent à adresser car la pyrolyse nécessite beaucoup d'énergie pour le chauffage pour un rendement matière relativement faible, et requiert de nombreuses étapes de traitement (hydrotraitement, vapocraquage).

La **gazéification** fonctionne de la même manière que la pyrolyse, mais avec une gazéification de l'huile de pyrolyse à très haute température pour produire un mélange de gaz (syngaz), qui peuvent ensuite être traitées pour produire du plastique. D'autres technologies existent comme l'hydrocraquage (craquage catalytique réalisé sous atmosphère riche en hydrogène) et le craquage hydrothermal (utilisation d'eau à l'état supercritique), mais celles-ci sont aujourd'hui très peu matures.

2. Les **procédés de dépolymérisation** reposent sur l'utilisation d'un solvant ou d'une enzyme, agissant comme catalyseur pour briser les liaisons du polymère et ainsi revenir au stade des monomères de bases. Ces procédés permettent d'adresser tous les déchets de PET (textiles, bouteilles de PET colorés, barquettes en PET), mais également les PU et PA, avec la promesse d'un retour à une qualité quasi équivalente à celle du matériau vierge.

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

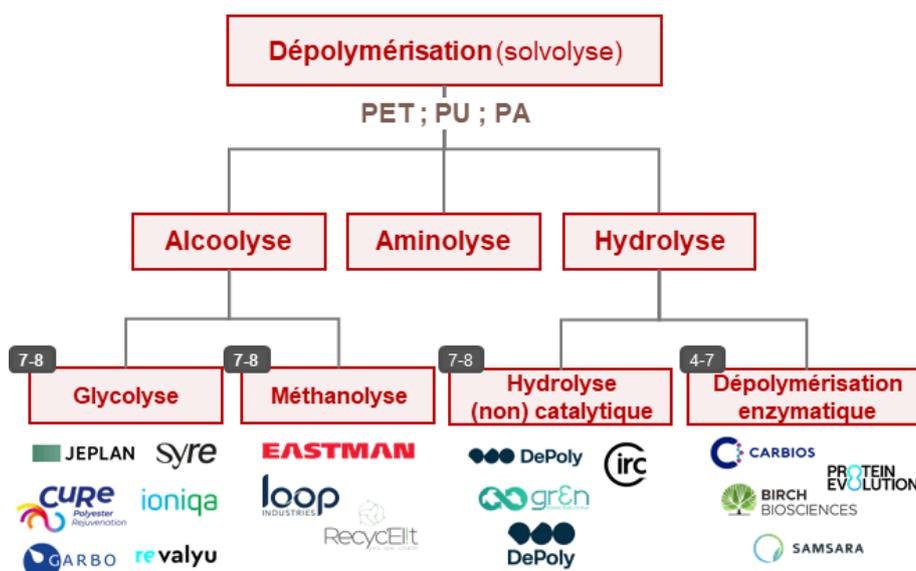


Figure 20 : Panorama des technologies de dépolymérisation, TRL et liste non exhaustive d'acteurs

On distingue deux approches principales de dépolymérisation. La première repose sur l'utilisation de solvants (**glycolyse** avec éthylène glycol, **méthanolysse** avec méthanol, **hydrolyse** avec eau) combinés à un apport de chaleur et/ou de pression pour accélérer la dégradation des chaînes polymériques, parfois assistés par des catalyseurs pour réduire les températures nécessaires. Ces procédés, relativement matures, comptent déjà plusieurs usines industrielles en fonctionnement (Eastman, Jeplan), mais leur principal défi réside dans la réduction de leur consommation énergétique afin de garantir une compétitivité économique sur un marché PET aux prix volatils. La seconde approche, encore en développement (TRL 4-7), est la **dépolymérisation enzymatique**, qui utilise des enzymes dans des conditions de basse température et pression pour détruire les liaisons polymériques. Bien qu'énergétiquement plus prometteuse, cette méthode nécessite des conditions strictes pour assurer l'efficacité et la stabilité des enzymes, freinant son déploiement à grande échelle.

3. **La dissolution** repose sur l'utilisation d'un solvant qui interagit spécifiquement avec le polymère ou avec les éléments indésirables (additifs, substances contaminantes, etc.). Ce procédé de séparation sélective est basé sur les propriétés de solubilité. Une fois le polymère isolé, une étape de purification est réalisée, suivie d'une précipitation permettant de récupérer le polymère. Cette méthode constitue une étape intermédiaire, qui peut nécessiter un recyclage complémentaire, qu'il soit mécanique ou chimique.



Figure 21 : Panorama des technologies de dissolution et liste non exhaustive d'acteurs

## La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

E-CUBE Strategy Consultants est un cabinet de conseil des Directions Générales exclusivement dédié aux enjeux énergétiques et environnementaux. Nous combinons les atouts de proximité, réactivité et flexibilité d'une petite équipe avec l'excellence et l'expérience d'une équipe internationale.

Nos trois domaines d'expertise sont :

- **Energie & Environnement** : Accompagner les énergéticiens (électriciens et gaziers, acteurs des filières Nouveaux Renouvelables, compagnies pétrolières) dans l'anticipation et la prise en compte de l'évolution de leur environnement marché, réglementaire, concurrentiel et technologique. Assister les acteurs publics et privés dans l'évaluation ou la définition de leur stratégie afin d'intégrer les enjeux et les opportunités d'une « nouvelle donne » énergétique et environnementale.
- **Mobilité & Infrastructure** : Accompagner les acteurs publics et privés de la mobilité (automobile, transport routier, ferroviaire, transport aérien, shipping, logistique) dans le cadre de leurs projets stratégiques, réglementaires et opérationnels. Accompagner les leaders de l'industrie et les collectivités dans la réévaluation de leur stratégie afin d'intégrer les enjeux du digital et l'essor des nouveaux modèles et usages. Assister les fonds d'investissement dans leurs acquisitions et prises de participation.
- **Décarbonation** : Accompagner les acteurs industriels et les groupes tertiaires dans la compréhension des impacts de la transition énergétique et environnementale sur leurs activités et leurs modèles économiques. Soutenir et challenger leur stratégie de décarbonisation (objectifs et feuille de route) et d'adaptation au climat.

E-CUBE Strategy Consultants accompagne ses clients sur des problématiques globales à partir de ses bureaux à Paris, Lausanne et Bruxelles, et des partenaires et affiliés de son réseau E-CUBE Global.

Pour plus d'informations, veuillez visiter [www.e-cube.com](http://www.e-cube.com).

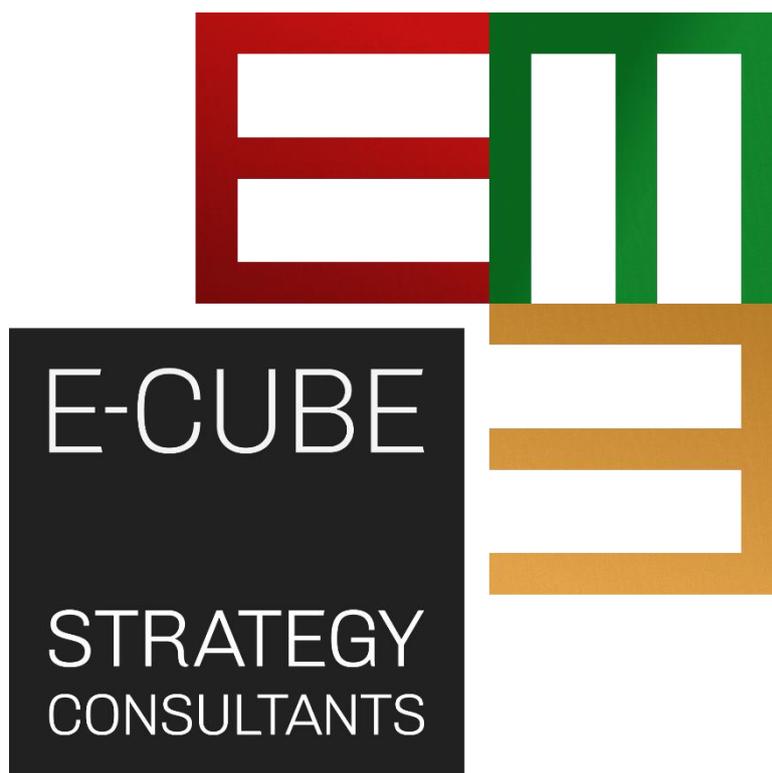
# La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle

## Auteurs

Mathieu Genova, Consultant

Laurine Palix, Manager

Clémence de Pommereau, Associate Partner



PARIS – LONDRES – LAUSANNE – BRUXELLES

La complexe équation du recyclage des plastiques : un impératif écologique et sociétal face au défi du passage à l'échelle  
Décembre 2024

Copyright © E-CUBE Strategy Consultants SA

[www.e-cube.com](http://www.e-cube.com)

Crédit illustration : Unsplash

*Toute reproduction sans l'autorisation de l'auteur est interdite.*

## **Contact**

Clémence de Pommereau – Associate Partner

[clemence.depommereau@e-cube.com](mailto:clemence.depommereau@e-cube.com)