

# Recyclage des plastiques vers une économie circulaire

*Estelle Cheret, TotalEnergies VP OneTech R&D Downstream Process & Polymers*  
*Katell Le Lannic, Responsable du service R&D Recyclage chimique des plastiques TotalEnergies OneTech Belgium*

## Introduction

L'objectif premier de TotalEnergies est d'être producteur et fournisseur de toutes les énergies accessibles à un plus grand nombre, aujourd'hui et dans le futur. C'est pourquoi la transition vers une offre d'énergies plus durables est importante pour la compagnie (*Figure 1*). Aujourd'hui, la demande en énergie est croissante, avec un double défi : fournir plus d'énergie, mais également diminuer nos émissions de CO<sub>2</sub>. Dans les polymères, notre objectif est de produire et de

fournir 30 % de polymères circulaires en 2030 (*Figure 2*). Dans les polymères circulaires on inclut les polymères recyclés avec le recyclage mécanique et le recyclage chimique, mais également les biopolymères<sup>1</sup>. Ce chapitre a pour but la présentation des différentes technologies sur lesquelles nous travaillons, des enjeux qui y sont associés pour trouver des solutions qui vont nous aider à être plus vertueux vis-à-vis de l'utilisation et de la nouvelle vie qu'on va donner à nos plastiques.

---

1. Polymères issus du vivant.

Notre ambition : Fournir les énergies dont le monde a besoin aujourd'hui et accélérer la transition vers une offre d'énergies bas carbone, de manière responsable et durable



Figure 1

Ambitions de TotalEnergies en termes de transition énergétique.



Figure 2

Les chiffres clés de TotalEnergies.

OneTech est une nouvelle branche dans TotalEnergies qui regroupe 3 400 technologies dont la R&D. La R&D est structurée suivant différentes lignes de recherche (Figure 3) dont celle nommée Downstream Processes &

Polymers<sup>2</sup>, dans laquelle il y a tout un pan qui ne s'occupe que du recyclage des plastiques.

2. Downstream Processes & Polymers : Procédés en aval et Polymères.

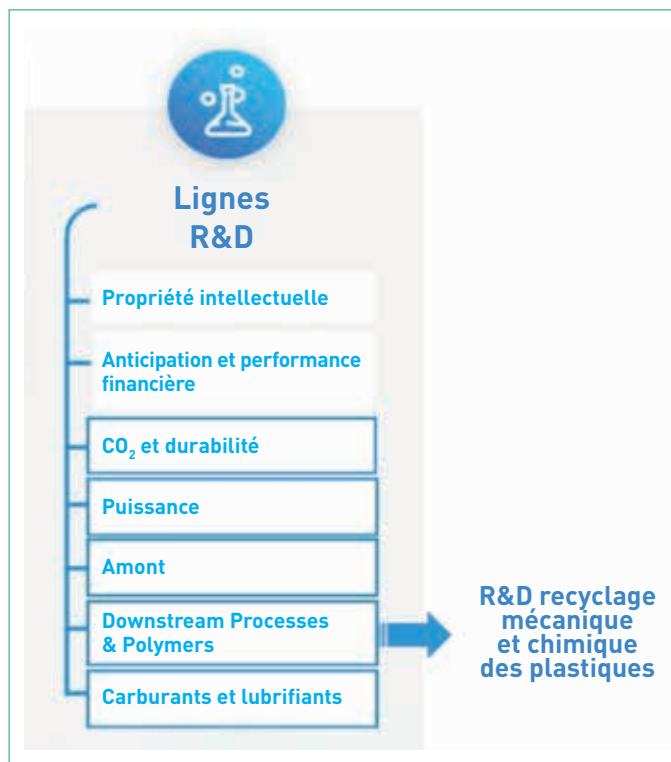


Figure 3

Organisation R&D de OneTech.

## 1 Le recyclage des déchets plastiques

### 1.1. Hiérarchisation des déchets (Figure 4)

Quand on parle des plastiques, on ne voit que les plastiques qui sont dans la nature et dans les océans, c'est-à-dire la plus mauvaise image des plastiques. Nous avons tous un rôle à jouer dans une utilisation responsable des plastiques. S'il y a des plastiques aujourd'hui dans la nature, c'est que quelqu'un les y a jetés. Le premier point où nous avons tous un rôle à jouer est l'utilisation responsable des

plastiques et il ne faut pas en utiliser si ce n'est pas nécessaire comme c'est le cas par exemple pour le *food packaging*<sup>3</sup>. Il faut donc prévenir et réduire.

Pour « réduire », nous avons un rôle à jouer en tant que producteurs de matières plastiques : aujourd'hui nous travaillons sur le développement de polymères plus performants qui vont permettre de réduire les épaisseurs des produits finaux, comme réduire l'épaisseur d'une bouteille qui

3. *Food packaging* : emballage des aliments.

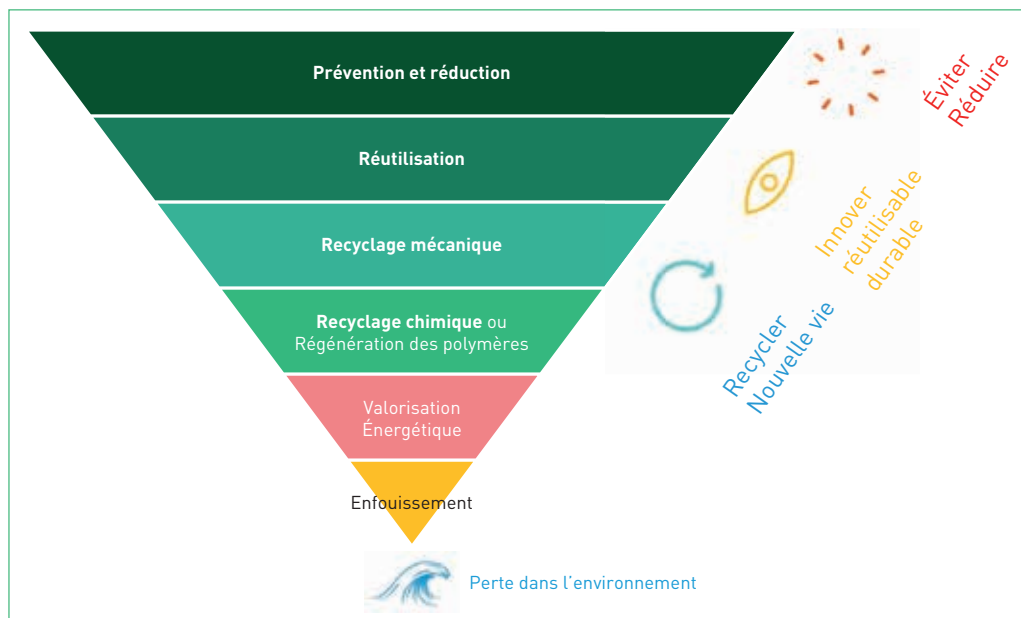


Figure 4

Le traitement hiérarchisé des déchets.

est de quelques centaines de microns à environ 25 microns. Nous travaillons sur le développement des polymères dont la durée de vie va être plus longue et qui pourront être utilisés 5-6 fois plutôt que jetés après 1-2 utilisation(s).

Quand la réutilisation n'est plus possible, intervient le recyclage. **Le recyclage mécanique** est le plus facile : il nécessite moins d'énergie. La partie la plus compliquée du recyclage mécanique est qu'il faut avoir une matière première qui soit déjà bien triée, bien propre, de manière à ne pas faire du *downgauging*<sup>4</sup> ou du *downgrading*<sup>5</sup> pour avoir les mêmes qualités de performances des produits finaux recyclés.

4. *Downgauging* : réduction d'échelle.

5. *Downgrading* : rétrogradation.

Quand cela n'est pas possible, on utilise le recyclage chimique qui, certes, est plus énergivore, mais qui permettra d'arriver à un produit recyclé qui aura les mêmes performances que le produit issu de l'énergie fossile.

Quand le recyclage n'est pas possible, on utilise la valorisation énergétique dans laquelle on n'a plus de rôle à jouer en tant que TotalEnergies.

Et si la valorisation n'est pas possible, il y a l'enfouissement (voir le chapitre sur les pales d'éoliennes).

## 1.2. Ambitions de TotalEnergies

Les ambitions de TotalEnergies dans le domaine du recyclage des plastiques sont résumées sur la **Figure 5**.



Figure 5

Ambitions de TotalEnergies en produits bas carbone, les produits circulaires.

## 2 Le recyclage des polymères chez TotalEnergies

La chaîne de valeur des polymères circulaires est représentée (Figure 6).

### 2.1. Le recyclage mécanique

La première voie qu'on va toujours chercher à appliquer est le recyclage mécanique qui passe d'abord par la collecte du déchet, son tri, sa décontamination (pour purifier, enlever le maximum de contaminants), et par ce qu'on appelle une extrusion (Figure 7). L'extrusion est réalisée avec une machine qui va fondre le plastique à environ 200-250 °C selon le polymère et générer des granulés qui eux seront vendus au client. C'est la voie que l'on cherche à valoriser puisque, pour faire une tonne de polymères recyclés, on utilise une tonne de déchets.

TotalEnergies a plusieurs usines en Europe qui produisent des composés recyclés mécaniquement. Comme c'est la voie qui a l'empreinte carbone et l'empreinte environnementale les plus réduites ainsi que le meilleur bilan déchet/polymère recyclé, des efforts R&D sont poursuivis pour maximiser les tonnes de polymères recyclés mécaniquement.

Cela passe par deux grands axes de recherche (Figure 8). Le premier sur le déchet : pour rendre le maximum de déchets et de volume de déchets éligibles au recyclage mécanique. Cela passe par l'amélioration des systèmes de tri : tri optique, intelligence artificielle, ou encore des décontaminations poussées pour nettoyer, pas uniquement en surface, mais plus au cœur grâce à des phases d'extrusion où le plastique est sous forme fondue. Le deuxième axe de travail est en aval, sur le produit, pour rendre le recyclage mécanique applicable

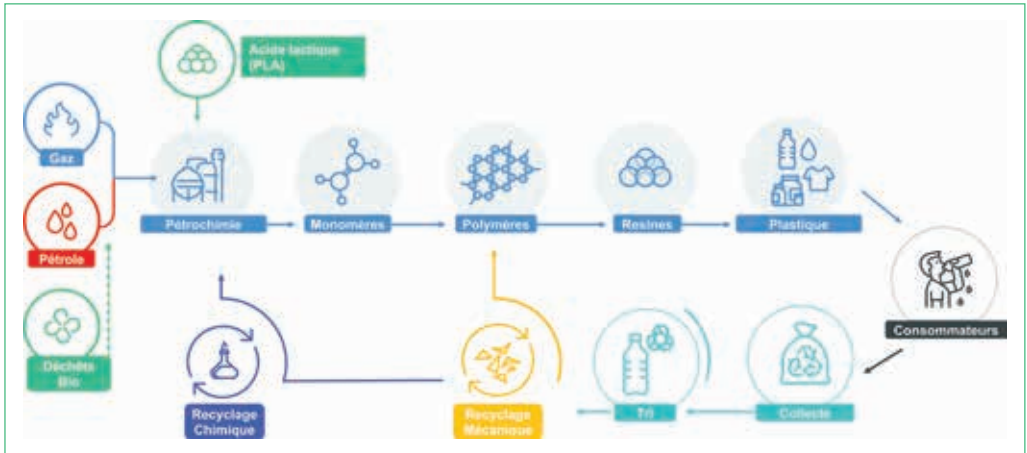


Figure 6

La chaîne de valeur des polymères circulaires.

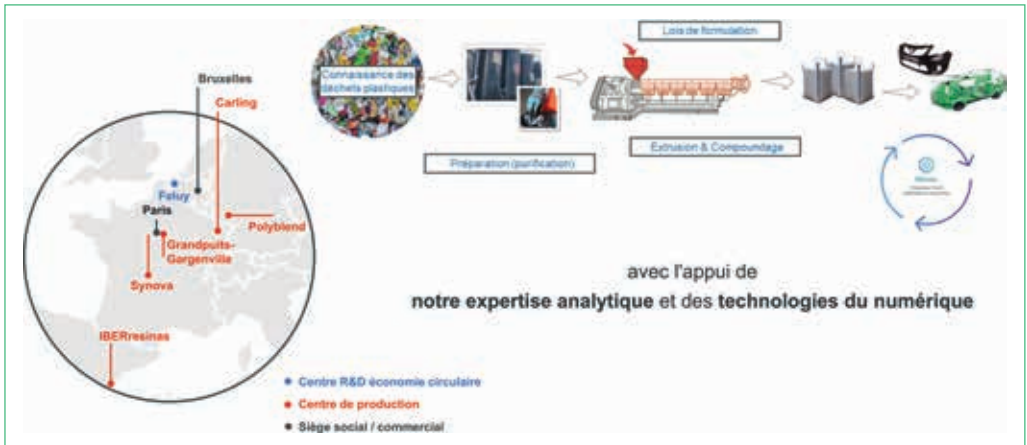


Figure 7

Les grandes étapes techniques et les sites d'action du recyclage mécanique.

au plus grand nombre d'applications possibles.

Malheureusement, il y a des limites au recyclage mécanique (Figure 9). Il faut améliorer les filières de recyclage pour maximiser la quantité de déchets à revaloriser. Il

faut améliorer la décontamination pour rendre plus pur le produit. Enfin, malheureusement à ce jour, le recyclage mécanique n'est pas éligible pour certaines applications : applications médicales, applications alimentaires,



Figure 8

Les objectifs R&D de TotalEnergies en recyclage mécanique.



Figure 9

Les limites du recyclage mécanique.

cosmétique et les jouets. Dans ces cas, on utilise le recyclage chimique.

## 2.2. Le recyclage chimique : la pyrolyse

Sur la **Figure 10** est représentée la vie d'un plastique : il est produit, utilisé, jeté, collecté,

trié. La qualité de son déchet définit la voie de recyclage. On favorise toujours le recyclage mécanique qui est une boucle courte avec une empreinte environnementale limitée et un bon bilan matière. Quand ce type de recyclage n'est pas possible, on utilise le **recyclage chimique**.

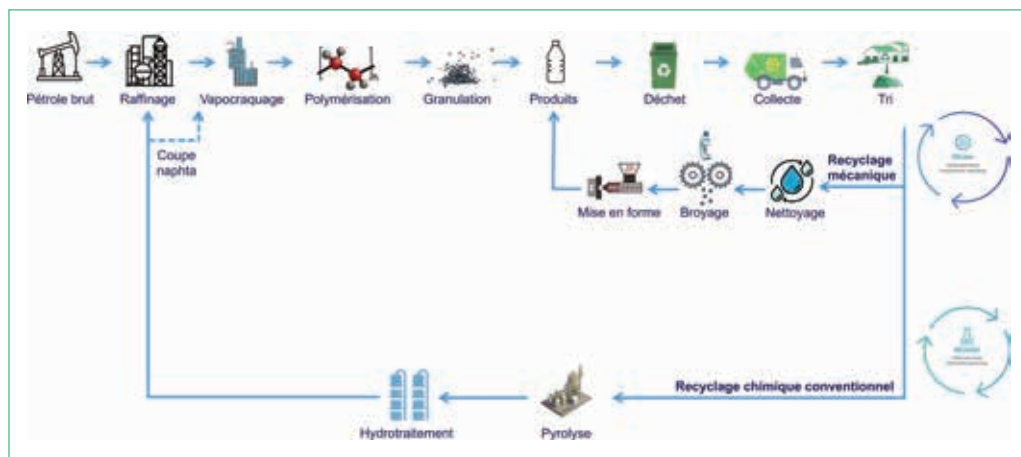


Figure 10

Le recyclage chimique, complément au recyclage mécanique.

À ce jour, le recyclage chimique qui existe industriellement est la voie **pyrolyse**. La pyrolyse est un traitement thermique à environ 400 °C en l'absence d'oxygène pendant plusieurs heures. On obtient une huile. Tous les additifs contenus dans le polymère initial pour lui donner ses propriétés (retard de feu, couleur, anti-mousse, etc.) deviennent des poisons, des contaminants pour les unités de production. Il faut donc décontaminer cette huile avant de pouvoir la réinjecter dans la boucle de production usuelle.

Pour illustrer les activités de TotalEnergies dans ce domaine, prenons l'exemple de la plateforme de Grandpuits-Gargenville (Figure 11) qui est une ancienne raffinerie à l'est de la région parisienne, en cours de reconversion en plateforme zéro pétrole. Il y a déjà une ferme solaire implantée, avec bientôt une

unité de biocarburants, une unité de biométhane et une unité de recyclage chimique. Un pyrolyseur (en partenariat avec Plastic Energy) est en construction pour démarrer en 2024. Et pour 2026, une nouvelle unité de recyclage mécanique est prévue.

On peut encore améliorer le rendement bilan matière-déchet vert-polymère recyclé (Figure 12) qui a une certaine empreinte environnementale. La R&D chez TotalEnergies, mais aussi celle de nos compétiteurs et des universitaires, travaille au développement de procédés plus efficaces, plus directs, qui vont directement, à partir du déchet, générer des molécules d'intérêt, en particulier des oléfines<sup>6</sup>, que l'on peut directement repolymériser.

6. Composés chimiques présentant de nombreuses doubles liaisons carbone-carbone.





Figure 11

Le complexe de Grandpuits-Gargenville.

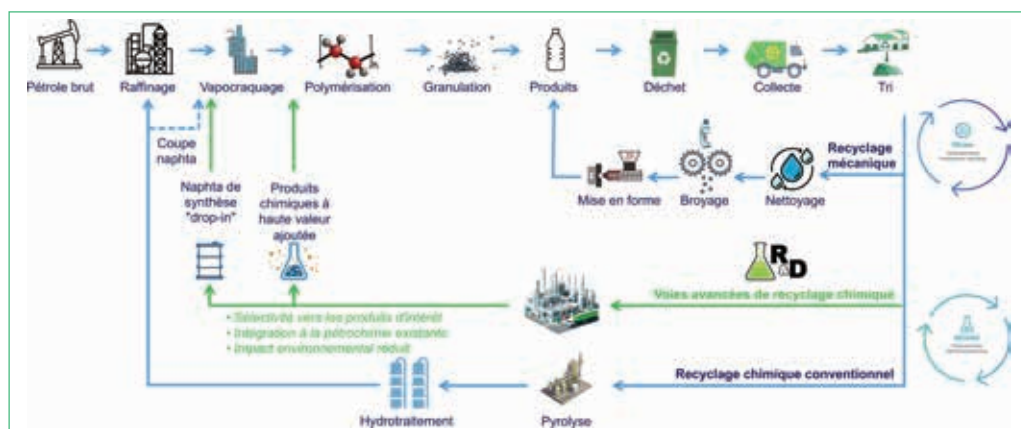


Figure 12

Les futures voies de recyclage chimique des plastiques.

## Conclusion

Pour améliorer le recyclage des plastiques, il faut travailler avec les collecteurs de déchets, les traiteurs de déchets et les universitaires qui ont les compétences scientifiques, et monter des projets. On en voit deux exemples sur la **Figure 13**.



Figure 13

Deux projets en partenariat d'amélioration du recyclage des plastiques.

À gauche en **recyclage mécanique** : le projet OMNI. Le recyclage mécanique, qui n'est pas éligible pour les applications alimentaires, va pouvoir le devenir avec des systèmes de tri optique couplés à de l'intelligence artificielle. On peut apprendre aux machines que ce déchet a été utilisé pour une application alimentaire, construit pour une application alimentaire. Donc après décontamination, il va pouvoir être réutilisé pour une nouvelle application alimentaire. Ce projet est terminé et en cours d'homologation par le législateur.

Sur la partie droite de la **Figure 13**, est schématisé un projet européen en recyclage chimique, appelé PLASTICE, qui a démarré en 2022 avec plusieurs partenaires, et qui vise à démontrer des voies de recyclage chimique améliorées, plus efficaces que celles qui existent industriellement à ce jour.