

PROJET DE BIORAFFINERIE À SAINT-JEAN-DE-FOLLEVILLE



FIN DE VIE ET RECYCLAGE DU PLA

FUTERRO, leader mondial dans la production d'acide lactique, de lactide et de PLA, un plastique biosourcé, souhaite implanter une bioraffinerie entièrement intégrée et circulaire à Saint-Jean-de-Folleville, en Seine-Maritime (76).

Ce projet vise notamment à produire de l'acide polylactique (PLA), un biopolymère recyclable, biosourcé et industriellement compostable. Le PLA représente une alternative durable, décarbonée et circulaire à de nombreux plastiques d'origine pétrolière. En effet, issu de matières premières agricoles, d'origine française et certifiées comme durables, il offre diverses options de fin de vie permettant de recourir à différentes méthodes de recyclage.

Après le ciment et l'acier, le plastique est à ce jour le troisième matériau le plus fabriqué au monde.

En 2018, le Programme des Nations Unies pour l'Environnement, alertant sur notre capacité à faire face à la quantité de déchets produite à l'échelle mondiale, classait les plastiques parmi « les plus grands fléaux environnementaux de notre temps »¹.

Le scénario de référence du rapport de l'OCDE « Perspectives mondiales des plastiques : scénarios d'action à l'horizon 2060 », prévoit que l'utilisation de plastiques pourrait quasiment tripler d'ici 2060 par rapport aux niveaux de 2019, passant de 460 millions de tonnes (Mt) à 1 231 Mt par an. Le volume des déchets plastiques devrait lui passer de 353 Mt en 2019 à 1014 Mt en 2060².

En effet, sous l'effet de la croissance économique et démographique, l'utilisation de plastiques devrait doubler dans les pays de l'OCDE et la croissance la plus forte devrait être observée dans les économies émergentes d'Afrique subsaharienne et d'Asie.

UNE ALTERNATIVE À LA PRODUCTION DE PLASTIQUES D'ORIGINE FOSSILE

Si l'on ne peut se passer de plastique, il est nécessaire de le réinventer. Le PLA constitue, en tant que bioplastique, une partie de la réponse à apporter aux défis environnementaux et sociétaux majeurs posés par la production, l'impact et la gestion des plastiques d'origine fossile.

FUTERRO mène un projet ambitieux visant à produire 75 000 tonnes de PLA par an, en s'inscrivant dans une logique d'économie circulaire. En effet, grâce au procédé de recyclage innovant LOOPLA®, FUTERRO offre une vie quasi infinie au PLA.

FUTERRO est aujourd'hui la seule entreprise au monde qui maîtrise l'ensemble de la chaîne de production depuis la fermentation du sucre en acide lactique, sa polymérisation en PLA, jusqu'au recyclage mécanique et moléculaire des déchets à base de PLA.

La bioraffinerie de FUTERRO serait ainsi la première bioraffinerie intégrée qui couvrirait l'ensemble du cycle de vie du PLA sur un même site. Une première mondiale.

¹ « Plastique à usage unique : feuille de route pour la durabilité », Programme des Nations Unies pour l'Environnement, juin 2018

² OCDE (2023), Perspectives mondiales des plastiques : Scénarios d'action à l'horizon 2060, Éditions OCDE, Paris.

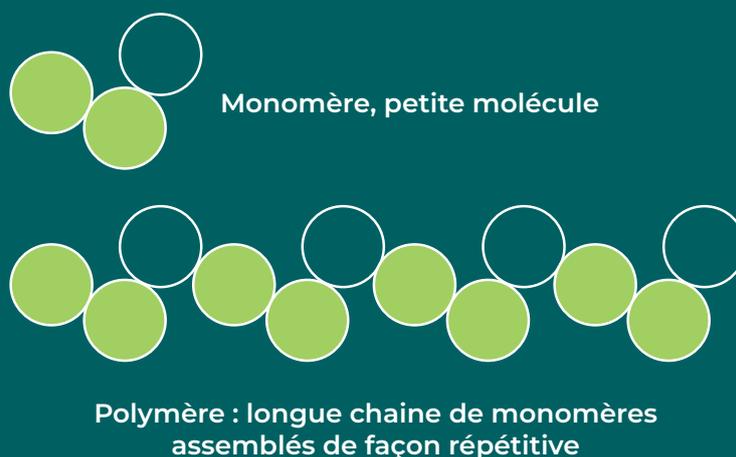
Le site de Saint-Jean-de-Folleville accueillerait ainsi 3 unités principales, distinctes et complémentaires :

- Une unité de fermentation dans laquelle le sucre (glucose) serait transformé en acide lactique ;
- Une unité de polymérisation qui permettrait de transformer l'acide lactique en lactide puis en PLA ;
- Une unité de recyclage mécanique et moléculaire du PLA permettant la production de r-PLA (PLA recyclé).

QU'EST-CE QUE LE PLA ? UN PLASTIQUE BIOSOURCÉ

L'acide polylactique (PLA) est un polymère biosourcé (par opposition aux polymères d'origine fossile) d'origine naturelle, recyclable et compostable en conditions industrielles.

Le PLA est obtenu par la polymérisation de l'acide lactique, acide organique composé d'atomes de carbone. L'acide lactique est une molécule présente naturellement dans de nombreux aliments (le lait, le vin, certains fruits et légumes), mais également dans le corps humain. C'est par exemple, un produit naturel du métabolisme des êtres vivants. Il est historiquement utilisé dans l'industrie agro-alimentaire pour ses propriétés d'antioxydant et de conservateur naturel, d'acidifiant ou d'exhausteur de goût. En cosmétique, il est utilisé pour diminuer le pH (acidité) des préparations (par ex. shampoing, soins capillaires), il favorise également l'hydratation des cheveux et l'élimination des cellules mortes. Il a par ailleurs la caractéristique de pouvoir être polymériser, c'est-à-dire, que les monomères (acide lactique) s'attachent les uns à la suite des autres pour produire un polymère, un plastique, comme présenté dans l'image ci-dessous.



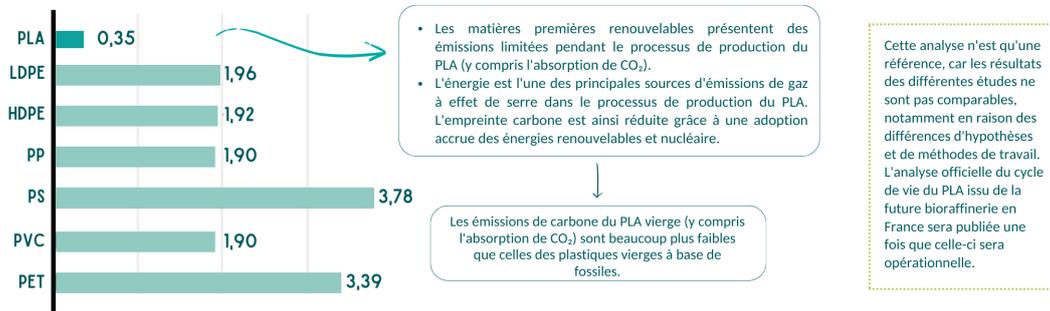
Les grandes étapes de fabrication du PLA sont les suivantes :

1. Au cours de la photosynthèse, l'énergie lumineuse est capturée par une plante (du blé dans le cas du projet de Futerro en France) et utilisée pour convertir du dioxyde de carbone (un gaz à effet de serre) en composés organiques tels que des sucres (glucides), des protéines, des huiles, des fibres ;
2. Les différents éléments constitutifs du grain sont extraits. Dans le cas du blé, les protéines (gluten) sont valorisées dans le secteur agro-alimentaire en tant que protéines végétales et les fibres dans le secteur de l'alimentation animal. Les sucres, sous forme d'amidon, sont hydrolysés par procédé enzymatique pour produire du dextrose (un sucre). Celui-ci est finalement transformé en acide lactique via un processus de fermentation par des micro-organismes ;
3. L'acide lactique est purifié par diverses technologies de distillation et de concentration ;
4. À partir de l'acide lactique préalablement obtenu, la polymérisation se déroule en deux phases : l'acide lactique est transformé en lactide au cours d'un procédé appelé « cyclisation », les molécules de lactide purifiées sont ensuite combinées par un processus de polymérisation par ouverture de cycle afin de permettre la création d'un polymère, le PLA.

Le PLA n'est pas considéré, au titre de la réglementation, comme une substance dangereuse et est d'ailleurs autorisé pour le contact alimentaire ou dans le secteur médical.

Plastique biosourcé, le PLA vierge qui serait produit en France par Futerro aurait une empreinte carbone inférieure à celle des principaux plastiques d'origine fossile, comme le montre la figure ci-dessous. La possibilité d'atteindre la neutralité carbone résiderait ensuite dans la capacité à utiliser des sources d'énergie renouvelables pendant le processus de production, ainsi que dans l'inclusion de contenu recyclé.

Estimation de l'analyse du cycle de vie pour le futur PLA français



Empreinte moyenne en CO₂ des principaux plastiques à base de fossiles comparée à l'empreinte estimée du PLA produit par Futerro en France. © Futerro. (Source: TÜV Rheinland - BAFA, Probas).

QUELLES OPTIONS POUR LA FIN DE VIE DU PLA ?

À l'image de toutes les typologies de déchets, le tri est un préalable incontournable à une gestion efficace et durable de la fin de vie du PLA. Si les déchets fabriqués en PLA peuvent être recyclés de différentes manières, il est crucial de les trier correctement pour garantir une efficacité maximale.

TRI DU PLA

UNE MÉTHODE ÉPROUVÉE À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

Le PLA, comme tous les plastiques, présente des enjeux en matière de gestion des déchets et de recyclage. Si le produit contamine d'autres flux de plastique, cela pourrait altérer la qualité des matériaux recyclés, il en va d'ailleurs de même pour les plastiques d'origine fossile. En séparant correctement le PLA des autres plastiques, il est possible de préserver et d'améliorer la qualité des matériaux recyclés.

La méthode la plus courante de tri des plastiques est la spectroscopie proche infrarouge (NIR), une méthode éprouvée qui utilise la lumière infrarouge pour identifier la composition chimique de différents matériaux.

La technologie NIR permet de distinguer le PLA des autres plastiques tels que le polyéthylène téréphtalate (PET), le polystyrène (PS) et le polyéthylène haute densité (PEHD), en fonction de leurs différents spectres d'absorption.

En utilisant des capteurs et des caméras NIR, la machine de tri peut séparer le PLA des déchets plastiques mélangés et les diriger vers un bac spécifique. De cette façon, le PLA peut aisément être isolé et collecté pour une réutilisation ultérieure.

Ce principe de tri du PLA a déjà été éprouvé à l'échelle industrielle^{3, 4, 5, 6}.

Plusieurs options sont ouvertes pour gérer la fin de vie du PLA. Il peut être réutilisé, recyclé mécaniquement, recyclé chimiquement ou composté industriellement.

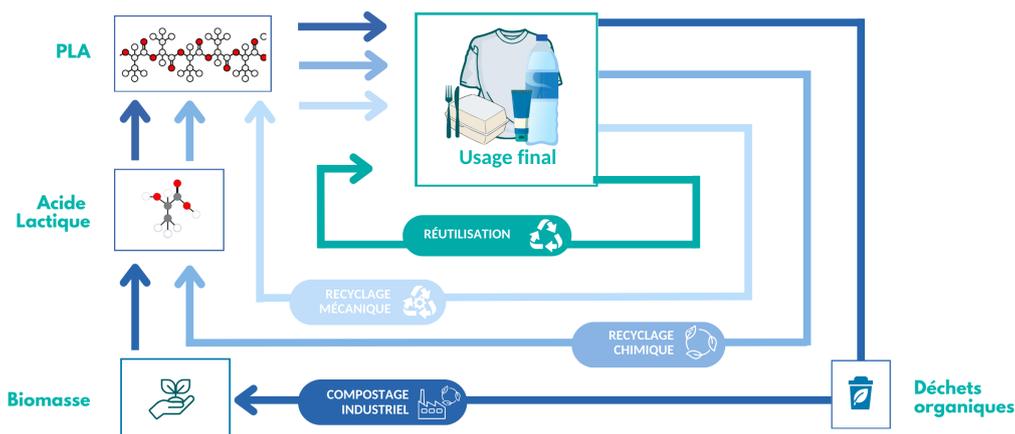
3 Foster, S. (2008). "Domestic Mixed Plastics Packaging Waste Management Options. An assessment of the technical, environmental and economic viability of recycling domestic mixed plastics packaging waste in the UK." WRAP.

4 Beeftink, M., Vendrik, J., Bergsma, G., Van der Veen, R. (2021). "PLA sorting for recycling. Experiments performed at the National Test Centre Circular Plastics (NTCP)." CE Delft.

5 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2017). «Results Summary - PLA in the waste stream.»

6 «Contribution à l'avenir des plastiques biosourcés» (2024), Pellenc ST, <https://www.pellencst.com/bio-based-plastics-sealive/>.

Avec le PLA, ce n'est pas le type de polymère qui définit les conditions de sa fin de vie, mais son application.



Options de fin de vie des produits à base de PLA. © Futerra

COMPOSTAGE INDUSTRIEL DU PLA UN RECOURS LORSQUE LE RECYCLAGE N'EST PAS POSSIBLE

Le compostage industriel est une solution adaptée, lorsque la partie « organique » représente la plus grande partie du déchet (capsules de café, sachets de thé, couches de bébés, etc.).

Le compostage industriel du PLA consiste à traiter les déchets de PLA à grande échelle dans des installations de compostage spécialisées.

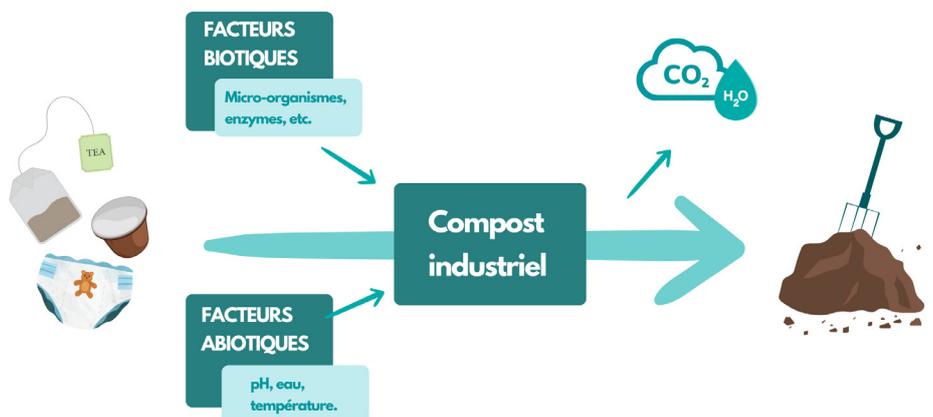
Conçues pour créer des conditions optimales pour la dégradation naturelle du PLA, ces installations permettent de transformer le PLA en compost conforme aux exigences réglementaires et environnementales.

Le compostage industriel des matériaux à base de PLA offre de nombreux avantages, comme récemment démontré par le «Projet Minéral» soutenu par l'Université de Montpellier, AgroParisTech et la Chaire CoPack⁷.

Cette étude de 2023 démontre que la présence de matériaux compostables tels que le PLA dans un lot de biodéchets envoyé pour compostage industriel augmente le rendement du compostage et n'a aucun impact négatif sur la qualité agronomique, microbiologique et toxicologique du compost final obtenu. En effet, lors de la dégradation des matières en PLA, le polymère va se fragmenter en micro et nanoparticules non persistantes dans l'environnement, résultant finalement en oligomères (petits polymères) et monomères, entièrement biocompatibles et bioassimilable par l'environnement⁸.

Ce type de solution réduit ainsi la quantité de déchets plastiques envoyés en décharge ou à l'incinération, contribuant en ce sens à la préservation de l'environnement. Il convient cependant de noter que le compostage industriel du PLA nécessite des infrastructures appropriées et un processus de contrôle rigoureux pour assurer une dégradation efficace.

Ainsi, le compostage industriel du PLA ne doit être envisagé que lorsque le recyclage n'est pas possible. Le compostage domestique n'est en revanche pas une solution adaptée à la fin de vie du PLA qui exige des conditions bien spécifiques pour entrer en décomposition.



Principes du compostage PLA. © Futerra

⁷ Chaire CoPack. (2023). «Projet Minéral. Test et validation des modes de valorisation organique des emballages alimentaires certifiés compostables.»

⁸ "PLA does not create persistent microplastics in the environment", Holland Bioplastics, https://hollandbioplastics.nl/wp-content/uploads/2024/06/2024.06.24_PeToPLA_Microplastics-Executive-Brief.pdf.

RECYCLAGE MÉCANIQUE DU PLA

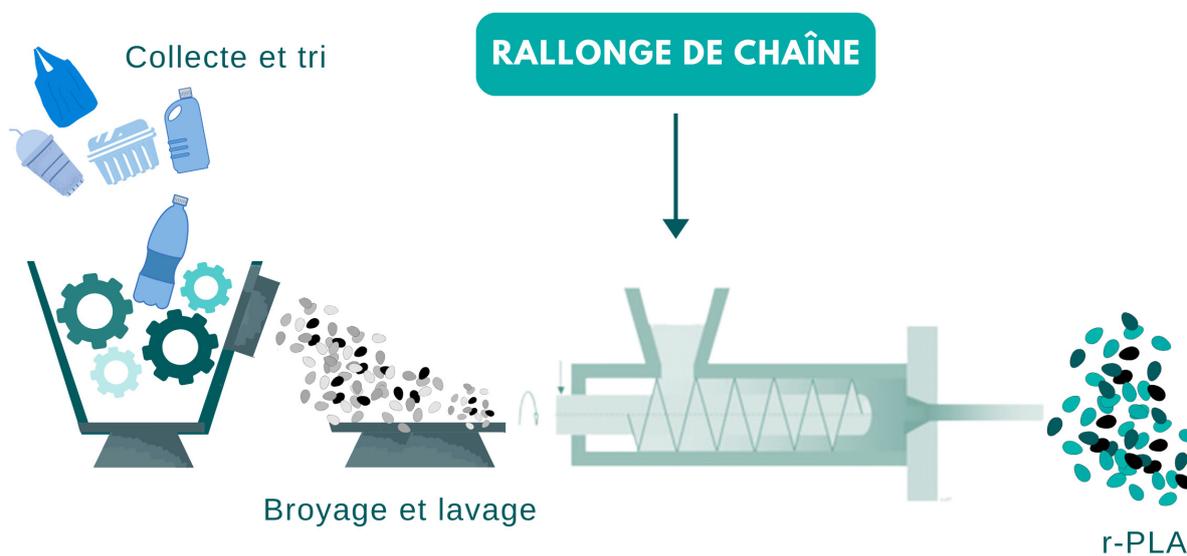
UN RISQUE DE DÉGRADATION DES PROPRIÉTÉS

Le recyclage mécanique est le processus par lequel le PLA, comme la plupart des plastiques, est transformé en nouvelle matière première utilisable.

Le recyclage mécanique est une bonne solution pour les déchets de PLA pur de qualité équivalente (bouteilles, barquettes alimentaires). Malheureusement, à l'instar du recyclage mécanique des plastiques conventionnels, ce procédé conduit à terme à un « down-cycling » (ou « décyclage »), c'est-à-dire à la baisse de qualité du matériau. Pour conserver de bonnes propriétés, des additifs doivent être incorporés lors du processus, avec une certaine limite, l'efficacité de ces additifs diminuant au-delà d'un certain nombre de cycles de recyclage.

Une fois trié et nettoyé pour éliminer les indésirables tels que les étiquettes ou les résidus alimentaires, le PLA peut être broyé en flocons ou fondus pour former des granulés de plastique recyclé. Les plastiques recyclés mécaniquement peuvent contenir des impuretés résiduelles ou perdre certaines de leurs propriétés lors de ce processus de recyclage, ce qui à terme peut limiter leur utilisation dans des applications exigeantes telles que l'emballage alimentaire ou le secteur médical.

Ainsi, malgré les avantages économiques et écologiques du recyclage mécanique, démontrés notamment par les conclusions du projet BIOLOOP⁹ développé par le CNRS et l'INSA, un certain nombre de limites techniques demeurent.



Principe du recyclage mécanique du PLA. © Futerro

RECYCLAGE MOLÉCULAIRE DU PLA

LOOPLA® : UN PROCÉDÉ DÉVELOPPÉ PAR FUTERRO POUR OFFRIR UNE VIE QUASI INFINIE AU PLA

FUTERRO est le pionnier du recyclage moléculaire du PLA. Avec LOOPLA®, l'entreprise belge a développé une méthode prometteuse et une alternative aux processus de compostage ou de recyclage mécanique.

La technologie LOOPLA® repose sur les principes de solvolysse et de dépolymérisation par alcoolysse et consiste à décomposer la chaîne polymère en ses unités initiales, les monomères, via l'utilisation d'un solvant biosourcé. Le procédé LOOPLA® permet de restaurer la qualité originale du PLA et d'éliminer toutes les impuretés ou additifs pour atteindre au moins 90-95 % de récupération de l'acide lactique, permettant à terme de produire un PLA recyclé disposant des mêmes qualités et propriétés techniques que celui initialement issu de matières premières agricoles.

9 CNRS. (2022). «BIOLOOP, laboratoire de nouveaux polymères biosourcés pour une économie circulaire.»

LE PROCESSUS DE RECYCLAGE LOOPLA® EST RÉALISÉ EN 5 PHASES :

Phase 1 :

Réception sur site des déchets de PLA lavés et broyés ;

Phase 2 :

Solubilisation des déchets à base de PLA via l'utilisation d'un solvant d'origine biosourcée puis filtration pour en retirer les macropolluants ;

Phase 3 :

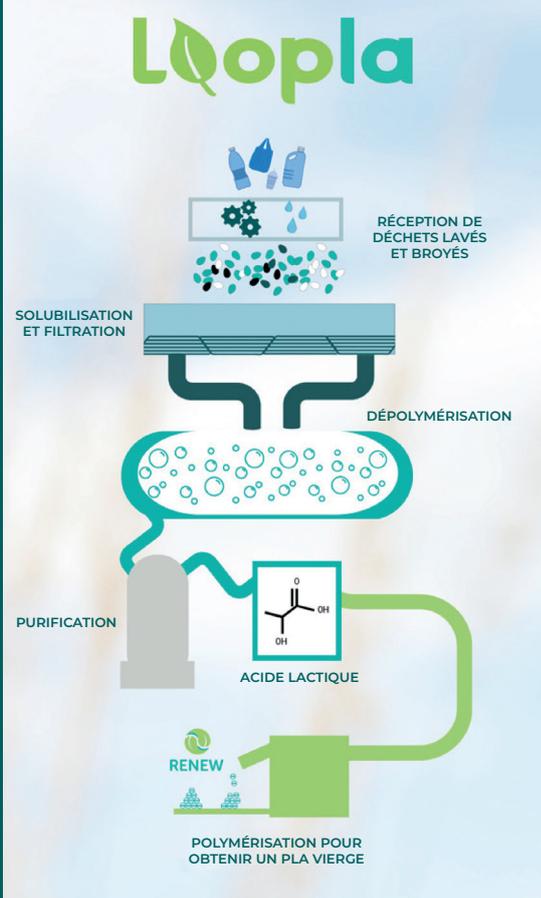
Alcoolyse permettant la dépolymérisation des chaînes de polymères en acide lactique puis distillation afin de séparer le produit noble des impuretés chimiques (micropolluants) ;

Phase 4 :

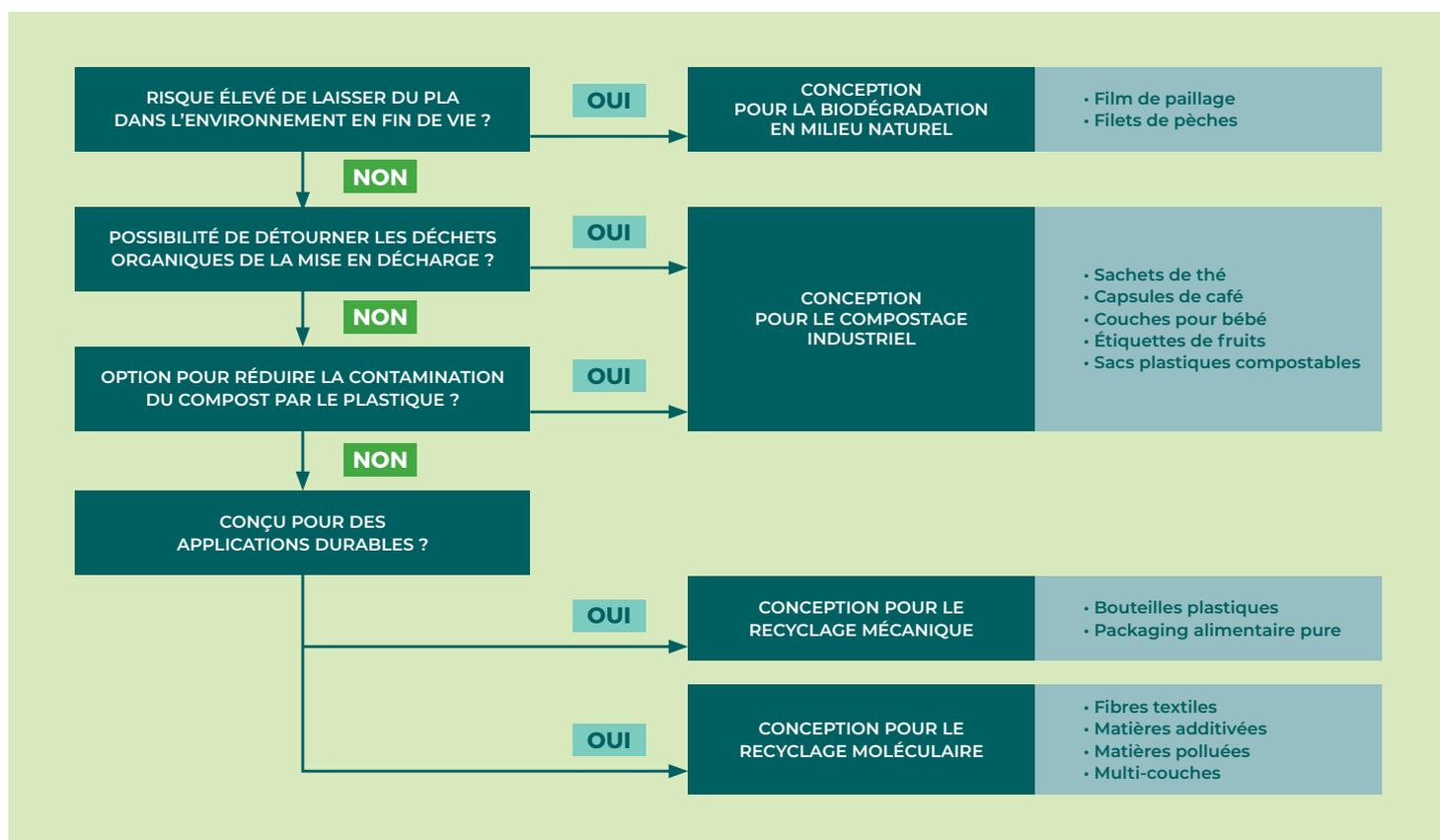
Hydrolyse de la solution afin de récupérer l'acide lactique ;

Phase 5 :

Purification de l'acide lactique obtenu pour ensuite être réintégré dans l'unité de polymérisation.



De manière pratique, la décision sur la fin de vie d'un déchet PLA dépend des critères suivants :



Il est à noter que les options mentionnées ci-dessus ne sont pas concurrentes, mais bien complémentaires.

LA RECYCLABILITÉ DU PLA COMPARÉE À CELLE DES PLASTIQUES D'ORIGINE FOSSILE

L'UNE DES MATIÈRES LES PLUS SIMPLES À RECYCLER

Le centre de recherche et développement spécialisé dans les matériaux nouveaux Materia Nova, fondé par l'université de Mons, en Belgique, a réalisé une étude comparant les trois processus de recyclage pour cinq types de plastiques différents : PET, PLA, PS, PE et PP¹⁰.

Les processus de recyclage sont évalués selon plusieurs critères, en particulier la sélectivité, la qualité, la demande d'énergie et l'empreinte sur le changement climatique. La sélectivité se rapporte à la capacité à traiter les flux de déchets de basse qualité, c'est-à-dire les produits qui ne sont pas purs. La qualité correspond à la préservation des propriétés et des performances du matériau une fois recyclé par la technologie. L'empreinte sur le changement climatique rend compte des émissions de gaz à effet de serre associées au processus de recyclage et au matériau.

Comme l'illustre le tableau ci-dessous, selon cette approche, le PLA peut être considéré comme l'un des meilleurs matériaux conçus pour le recyclage, que ce soit par technologie de recyclage mécanique ou chimique.

		PERFORMANCE	SÉLECTIVITÉ	QUALITÉ	DEMANDE D'ÉNERGIE	EMPREINTE SUR LE CHANGEMENT CLIMATIQUE
RECYCLAGE MÉCANIQUE	PET	Vert	Rouge	Orange	Rouge	Orange
	PLA	Vert	Rouge	Orange	Vert	Vert
	PE/PP	Vert	Rouge	Orange	Vert	Vert
	PS	Vert	Rouge	Orange	Vert	Jaune
RECYCLAGE CHIMIQUE	PET	Vert	Orange	Vert	Rouge	Rouge
	PLA	Vert	Orange	Vert	Orange	Vert
RECYCLAGE THERMOCHIMIQUE	PE/PP	Rouge	Jaune	Vert	Orange	Orange
	PS	Rouge	Jaune	Vert	Orange	Orange

CONCLUSION

Le PLA produit par FUTERRO à Saint-Jean-de-Folleville le serait à partir de matières premières agricoles, végétales et renouvelables, par fermentation du sucre en acide lactique, puis par transformation de l'acide lactique en un polymère bio-renouvelable mais également par recyclage à partir de déchets de PLA.

Avec une unité de recyclage mécanique et une unité de recyclage moléculaire LOOPLA®, le site de la bioraffinerie de Saint-Jean-de-Folleville permettrait à FUTERRO de couvrir l'ensemble du cycle de vie du PLA, mais également de commencer la structuration d'une nouvelle filière de collecte et de recyclage à l'échelle nationale et européenne.

Si aujourd'hui, les centres de tri en France se concentrent uniquement sur les plastiques d'origine fossile, la séparation des déchets à base de PLA ne pose pas de difficultés et les solutions techniques existent. Il est donc nécessaire dès à présent, dans une logique d'éco-conception de développer des cycles vertueux autour des matériaux biosourcés tels que le PLA. Une dynamique déjà à l'œuvre dans un certain nombre de pays européens. En Espagne et en Italie, l'utilisation des matériaux biosourcés est encouragée par une taxation « REP » (responsabilité élargie des producteurs) réduite par rapport aux matériaux d'origine fossile. Des mesures incitatives qui encouragent les grands metteurs sur le marché (Danone, Nestlé, Mars, etc.), à passer des matières pétro-sourcées aux matières alternatives, reconnues comme meilleures pour l'environnement.

FUTERRO collecterait donc dans son installation de recyclage deux principaux flux, les rebuts de fabrication de ses clients ainsi que des flux en circuits courts coconstruits avec ses clients, tant à l'échelle nationale qu'europpéenne (gobelets en plastique provenant d'événements, par exemple).

Concernant le PLA provenant de la collecte des ordures ménagères, FUTERRO travaille déjà à l'élaboration de ce flux provenant des centres de surtri en développement à travers la France, spécifiquement destinés à créer de nouvelles filières de recyclage.

¹⁰ Terrien, L. Talon, O. Cayuela, J. (2023) Materia Nova. "Technologies for the recycling of plastic waste. Mass, energy and climate change balances.»

GLOSSAIRE

Acide lactique

Acide organique composé d'atomes de carbone ; il est présent dans le lait, le vin, certains fruits et légumes, mais aussi dans le corps humain ; il peut être défini comme un monomère.

Compostage industriel

Procédé de traitement de grands volumes de déchets organiques dans un environnement contrôlé garantissant une tenue en température élevée, constante et homogène, pendant la durée nécessaire à la décomposition biologique.

Molécule

Particule formée d'atomes et qui représente, pour un corps pur qui en est constitué, la plus petite quantité de matière pouvant exister à l'état libre.

PE

Le polyéthylène, issu de la transformation du pétrole, est un plastique très couramment utilisé dans un ensemble d'applications, comme les emballages alimentaires.

PET

Le polyéthylène téréphtalate, plastique issu du pétrole et thermoformable, est utilisé principalement pour le conditionnement de produits liquides en bouteilles, la production de textiles et le packaging alimentaire.

PLA

L'acide polylactique est un plastique d'origine végétale, biosourcé, utilisable pour un grand éventail d'usages comme le conditionnement alimentaire ou l'impression 3D, par exemple.

Polymère

Macromolécule constituée d'une chaîne de molécules similaires et répétitives, appelées monomères.

Polymérisation

Réaction chimique qui, par la combinaison de plusieurs molécules de faible masse (monomères), donne naissance à une molécule plus grande (polymère). La polymérisation peut être obtenue par un procédé naturel réalisé par les êtres vivants ou par une transformation chimique.

PS

Le polystyrène est un plastique issu du pétrole, utilisé comme isolant thermique et phonique, ainsi que pour l'emballage.

Recyclage mécanique

Procédé de traitement des déchets plastiques qui implique la récupération, le tri, le nettoyage, le broyage et la refonte des matériaux plastiques pour les transformer en nouveaux produits.

Recyclage moléculaire

Également connu sous le nom de recyclage chimique, procédé qui vise à décomposer les plastiques usagés en leurs constituants chimiques de base, souvent des monomères, qui peuvent ensuite être réutilisés pour fabriquer de nouveaux matériaux plastiques.