



LE PLA: UN POLYMÈRE DURABLE ET CIRCULAIRE POUR UN AVENIR PLUS VERT

LIVRE BLANC

2025

SOMMAIRE

Introduction.....	03
Définition de bioplastique.....	04
Caractéristiques du PLA.....	05
Origines biosourcées de l'acide lactique et du PLA.....	06
Transition vers des sources de carbone alternatives durables.....	08
Approvisionnement durable.....	09
Sélection des matières premières.....	10
Ressources non OGM.....	12
Empreinte carbone.....	12
Présentation du projet de bioraffinerie intégrée.....	14
Matières premières durables pour notre projet de bioraffinerie.....	15
Lien avec le secteur agricole français.....	17
Impacts environnementaux de notre projet.....	18
Futero et la taxonomie européenne.....	19
PLA: Grande diversité d'applications.....	20
Aperçu des propriétés mécaniques du PLA	21
PLA comme substitut aux plastiques d'origine fossile.....	22



Options de fin de vie du PLA.....	23
Tri du PLA.....	25
Compostage industriel.....	26
Recyclage mécanique.....	27
Recyclage chimique.....	28
Dégradation du PLA dans l'environnement	29
Arbre décisionnel pour la fin de vie du PLA	31
Recyclabilité du PLA par rapport aux plastiques d'origine fossile.....	32
Conclusion.....	33
Glossaire.....	35
À propos de Futero.....	38
Références.....	39

INTRODUCTION

LE PLA COMME SOLUTION PRÉCIEUSE POUR NOTRE ENVIRONNEMENT

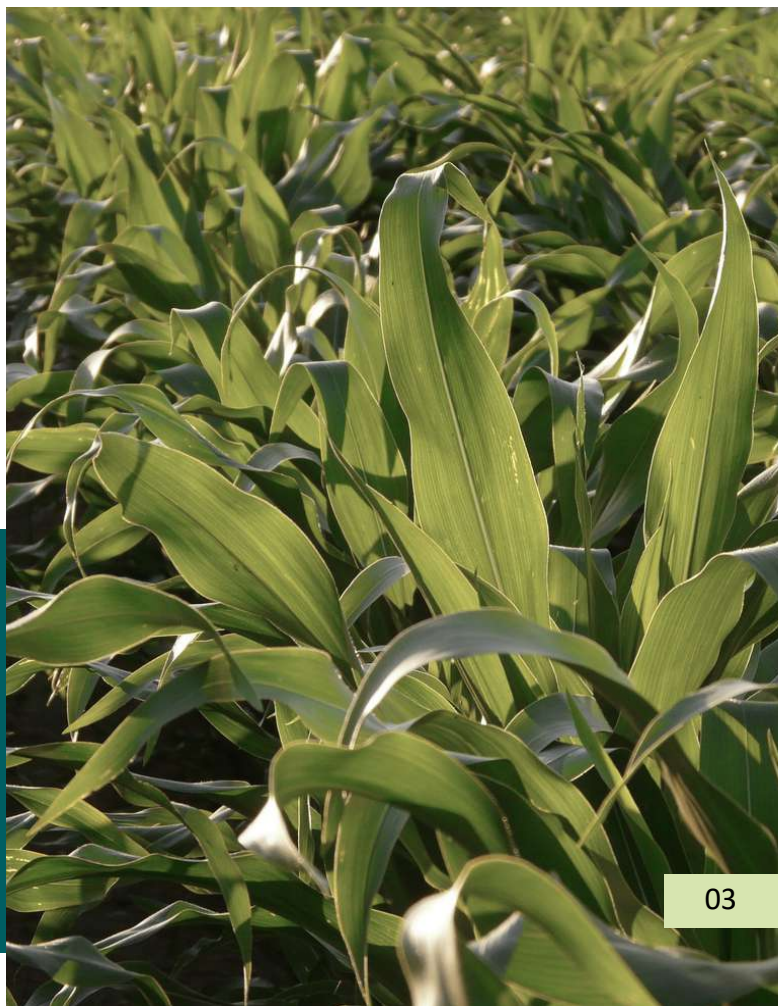
Dans un monde où la préservation de l'environnement et le développement durable sont devenus des enjeux majeurs, le choix des sources de carbone pour l'industrie chimique et plastique est crucial. L'acide lactique, le lactide et l'acide polylactique (ou PLA) représentent des solutions prometteuses.

Les plastiques occupent une place dominante dans notre économie moderne. Ils englobent une large gamme d'applications, allant de l'emballage alimentaire aux produits de soins personnels, en passant par les produits pharmaceutiques, les textiles, et bien plus encore. Cependant, la prédominance des plastiques traditionnels à base de ressources fossiles (pétrole et gaz) suscite des inquiétudes croissantes quant à leur impact sur l'environnement et la santé humaine, en raison de leur lente (voire inexistante) dégradation, de leur faible recyclabilité, de leur empreinte carbone élevée, de leur gestion difficile en fin de vie et de leur écotoxicité potentielle pour les animaux, les plantes et les organismes humains.

Dans ce contexte, le PLA apparaît comme une alternative prometteuse aux plastiques traditionnels. Il s'agit d'un polymère qui peut être recyclé et composté industriellement. Il est 100% biosourcé, c'est à dire fabriqué à partir de ressources renouvelables et durables telles que l'amidon de blé ou de maïs. Grâce à ses caractéristiques durables, le PLA peut être considéré comme un produit parfaitement circulaire, que Futerro qualifie également de « biorenouvelable ».

En plus de ses atouts écologiques, le PLA peut être utilisé dans un large panel d'applications grâce à ses propriétés physiques et mécaniques polyvalentes, telles que sa transparence, sa haute résistance et sa grande rigidité.

De plus, le PLA est compatible avec les techniques de transformation et de fabrication existantes, ce qui facilite son intégration (solution "drop in" ou "clef en main") dans les lignes de transformation actuelles des plastiques traditionnels comme le PS, le PP ou le PET.



DÉFINITION DE BIOPLASTIQUE

Les bioplastiques englobent une famille diversifiée de matériaux, tels que définis par l'Association Européenne des Bioplastiques. Ils incluent les plastiques qui sont soit biosourcés, soit biodégradables, ou qui présentent les deux attributs, comme présenté dans le Schéma 1. Par exemple, l'acide polylactique est un bioplastique qui est à la fois biosourcé (produits à partir de ressources végétales) et biodégradable (compostable industriellement).

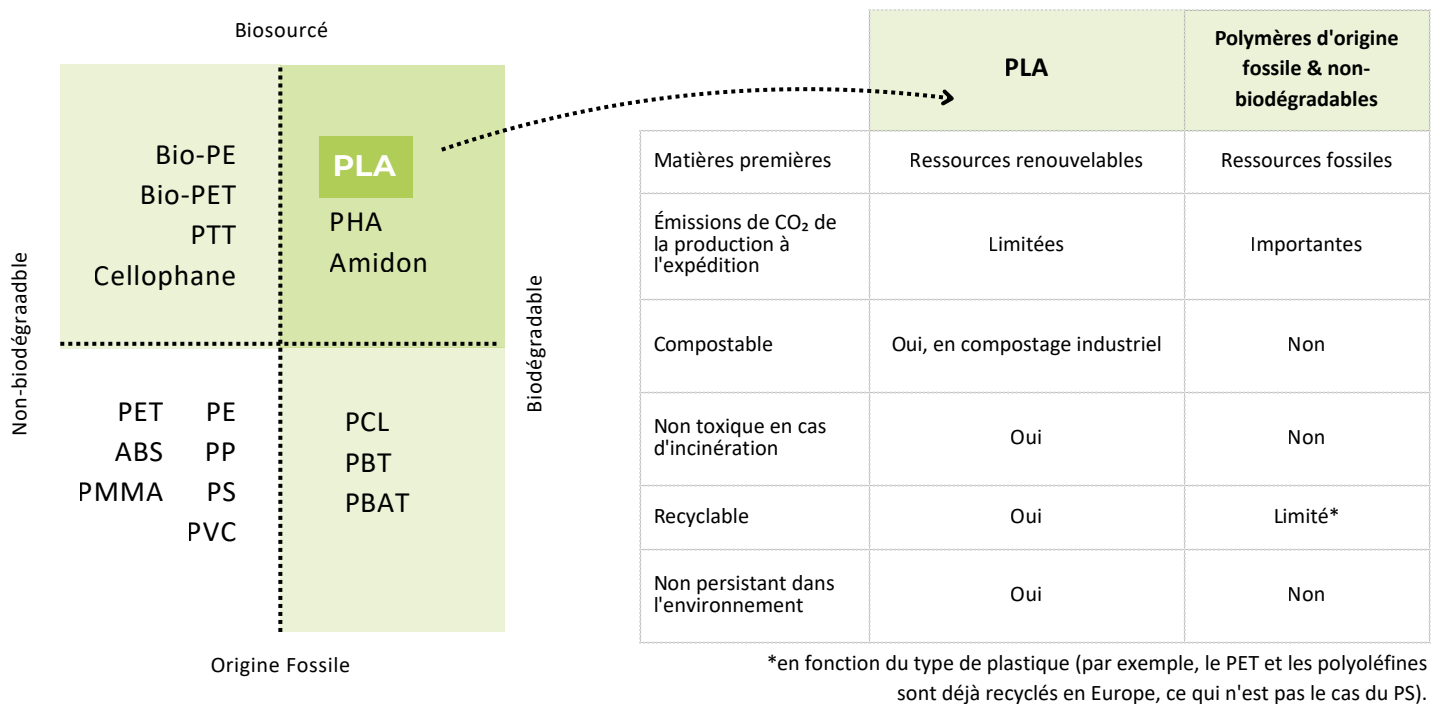


Schéma 1 : Définition des bioplastiques et mise en évidence du PLA par rapport aux polymères d'origine fossile. © Futerro

Les plastiques biosourcés, qui représentent une fraction significative de la famille des bioplastiques, sont produits à partir de ressources naturellement renouvelables, comme le maïs, la canne à sucre ou le blé. Il existe également de nouvelles sources émergentes de matières premières renouvelables comme les algues ou encore les champignons. Cependant, celles-ci n'ont pas encore atteint une production à l'échelle industrielle et ne sont pas considérées pour l'instant comme des matières premières économiquement viables pour la fabrication de bioplastiques.

Les plastiques à base de matières fossiles, autrement appelés "plastiques traditionnels" sont produits à partir de ressources non-renouvelables comme le gaz ou le pétrole. Ces ressources, classées comme non renouvelables, contrastent fortement avec la nature durable et renouvelable des plastiques biosourcés.

CONCEPT DE "BIORENOUVELABILITÉ"



CARACTÉRISTIQUES DU PLA

- ✓ Faible empreinte carbone
- ✓ Produit à partir de matières premières renouvelables et durables
- ✓ Production responsable
- ✓ Non-toxique
- ✓ Différentes options de fin de vie
- ✓ Convient au contact alimentaire
- ✓ Grande diversité d'applications



CERTIFICATION DU PLA DE FUTERRO

Produits biosourcés :
DIN EN 16785-1:2016-03
ISO 16620-2_2016

Produits compostables industriellement :
DIN EN 13432:2000-12

Approuvé pour le contact alimentaire :
(US) FDA 21 CFR 175:300
(EU) No 10/2011 & (EU) 2020/1245
(CN) GB 4806.7-2016

ORIGINES BIOSOURCÉES DE L'ACIDE LACTIQUE ET DU PLA

PROCESSUS DE PRODUCTION DU PLA À PARTIR DU BLÉ

1 Photosynthèse : Lors de la photosynthèse, de l'énergie lumineuse est utilisée par les plantes pour transformer le dioxyde de carbone (CO₂) en composés organiques tels que des protéines, des huiles ou encore de l'amidon. La présence et la concentration de ces composés, qui sont des produits biologiques de haute valeur, varient selon la matière première, qui peut inclure le blé, le maïs, la canne à sucre, la betterave sucrière, et bien d'autres encore.

2 Extraction de l'amidon à partir du blé : Une fois la croissance des plantes terminée, celles-ci peuvent être récoltées et stockées durant plusieurs mois. Dans le cas du blé par exemple, sa transformation consiste à nettoyer et broyer les grains pour en séparer les divers composés comme les fibres (ou son de blé), l'endosperme (amidon et gluten notamment), et le germe. L'amidon est extrait par lavage et le gluten est isolé par pétrissage. Une fois séchés, ces derniers sont prêts pour être utilisés dans le secteur de l'agro-alimentaire ou de la chimie verte. Le son de blé lui, est généralement utilisé en tant qu'ingrédient dans le secteur de l'alimentation animale.

3 Hydrolyse de l'amidon : L'amidon extrait subit un processus d'hydrolyse, au cours duquel les molécules d'amidon sont décomposées en molécules de sucre plus petites (ou glucides). Ce processus s'effectue généralement à l'aide d'enzymes, qui sont des substances naturelles et capables de décomposer l'amidon en glucose.

4 Fermentation : La fermentation du glucose du blé en acide lactique est un processus naturel et biologique au cours duquel les sucres, généralement le glucose ou d'autres glucides, sont convertis en acide lactique par des micro-organismes. Ce processus de fermentation se déroule dans des conditions anaérobies, c'est-à-dire sans oxygène. Une fois produit, l'acide lactique est purifié à l'aide de différents procédés pour atteindre une haute pureté, requise pour sa polymérisation en PLA.

5 Cyclisation : La transformation de l'acide lactique en lactide implique plusieurs réactions chimiques telles que la cyclisation, où deux molécules d'acide lactique forment un anneau appelé « lactide ». Le lactide est ensuite collecté et purifié à travers différents procédés.

6 Polymérisation : Une fois purifié, le lactide peut être polymérisé grâce à un procédé appelé polymérisation par ouverture de cycle, au cours duquel les molécules de lactide ouvrent leur structure cyclique et réagissent ensemble, formant des polymères à longue chaîne connus sous le nom de PLA.

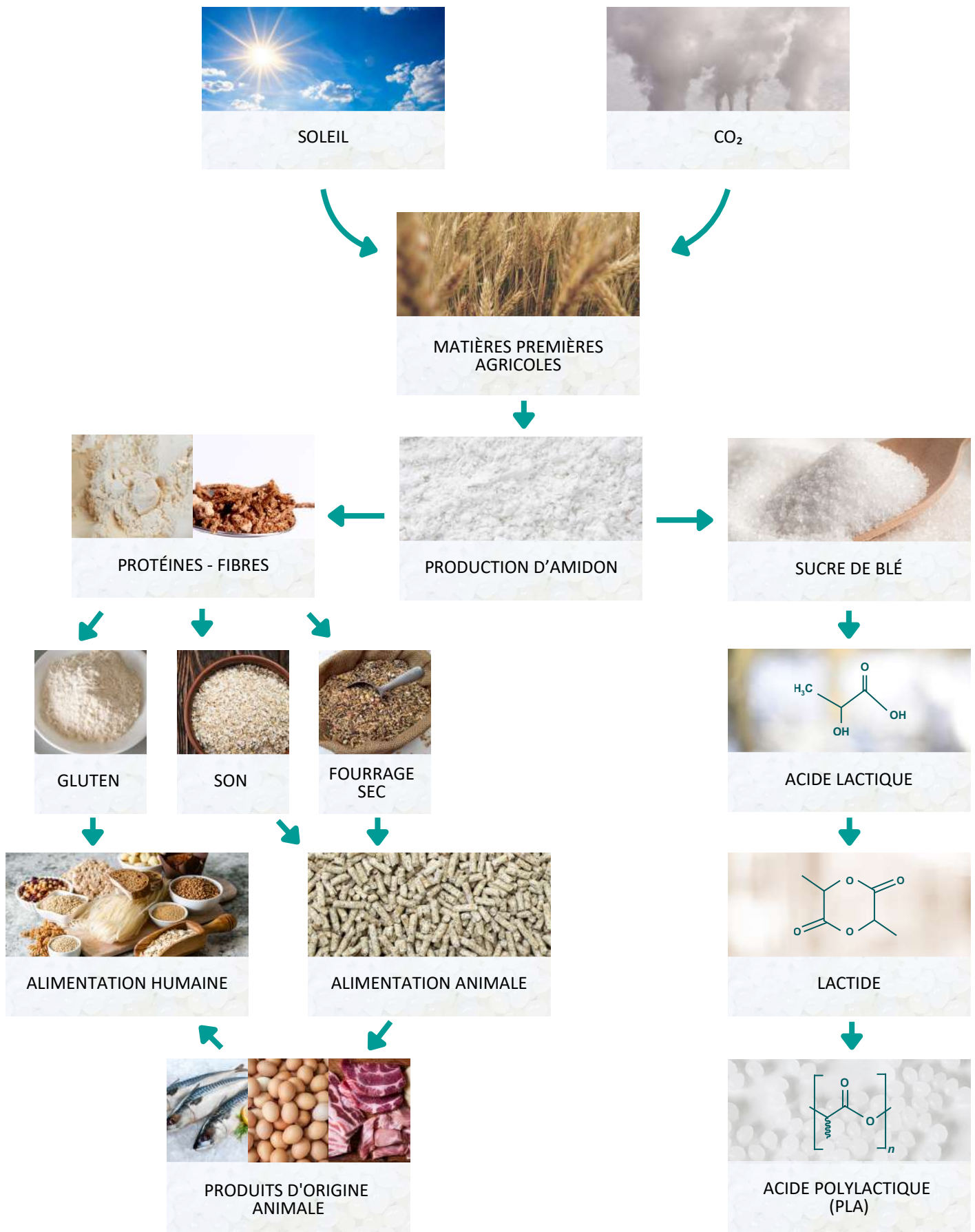
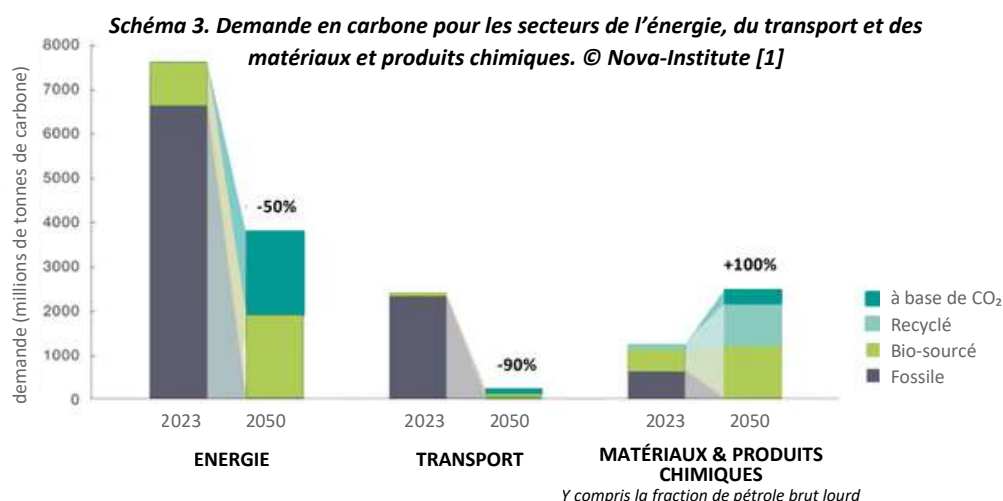


Schéma 2: Principe de production de PLA à partir de blé comme matière première biosourcée © Futerro

TRANSITION VERS DES SOURCES DE CARBONE ALTERNATIVES DURABLES

Diminution de la demande de carbone attendue dans tous les secteurs, à l'exception du secteur chimique et des matériaux.



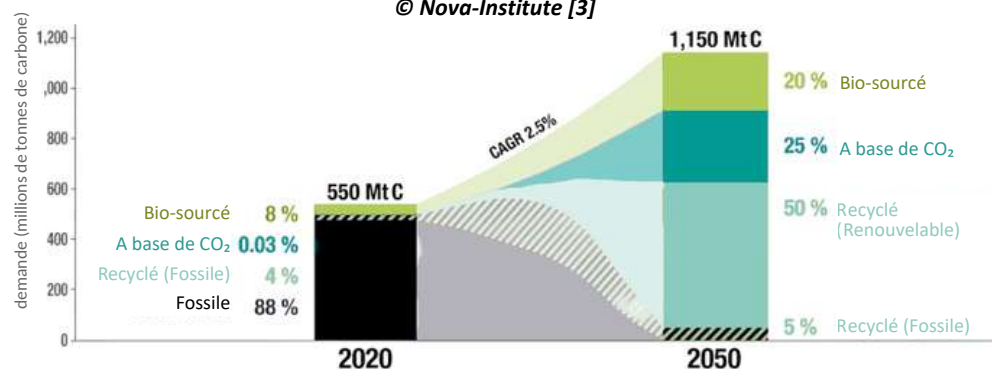
L'utilisation de carbone renouvelable comme matière première est l'une des conditions essentielles pour atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. Selon les prévisions de Nova-Institute [1], le seul secteur où l'utilisation de sources de carbone augmentera est celui des produits chimiques et des matériaux. En effet, ces produits sont, par nature, fabriqués à partir de molécules carbonées et en contiennent ; il est donc impossible de les remplacer par des molécules sans atome de carbone. La seule manière de réduire leur impact sur notre environnement est d'utiliser des matières premières alternatives respectueuses et durables, y compris celles d'origine biologique, recyclées ou encore directement basées sur le CO₂.

D'ici 2050, la production mondiale de plastique pourrait atteindre 1.200 millions de tonnes. Pour atteindre la neutralité carbone, les scientifiques estiment que 135 millions de tonnes de plastiques devront être biosourcés, 315 millions de tonnes seront produits à partir de CO₂ et la portion restante, soit 750 millions de tonnes, proviendra de carbones recyclés [2].

Par conséquent, la seule solution disponible pour le secteur des produits chimiques et des matériaux afin d'atteindre la neutralité carbone est d'utiliser et de promouvoir les matières premières à base de carbone non fossile. Le PLA représente une solution unique, étant à la fois 100% biosourcé et 100% recyclable grâce à plusieurs options de fin de vie, comme le recyclage mécanique ou chimique. Ainsi, le PLA peut être considéré comme l'une des solutions les plus fiables et sûres pour décarboner l'industrie plastique.

Transition vers des sources de carbone alternatives et durables

Schéma 4. Carbone intégré dans les produits chimiques et matériaux dérivés (y compris les plastiques). © Nova-Institute [3]



APPROVISIONNEMENT DURABLE

PLASTIQUES BIOSOURCÉS : MOINS DE 0.02% D'UTILISATION DES TERRES

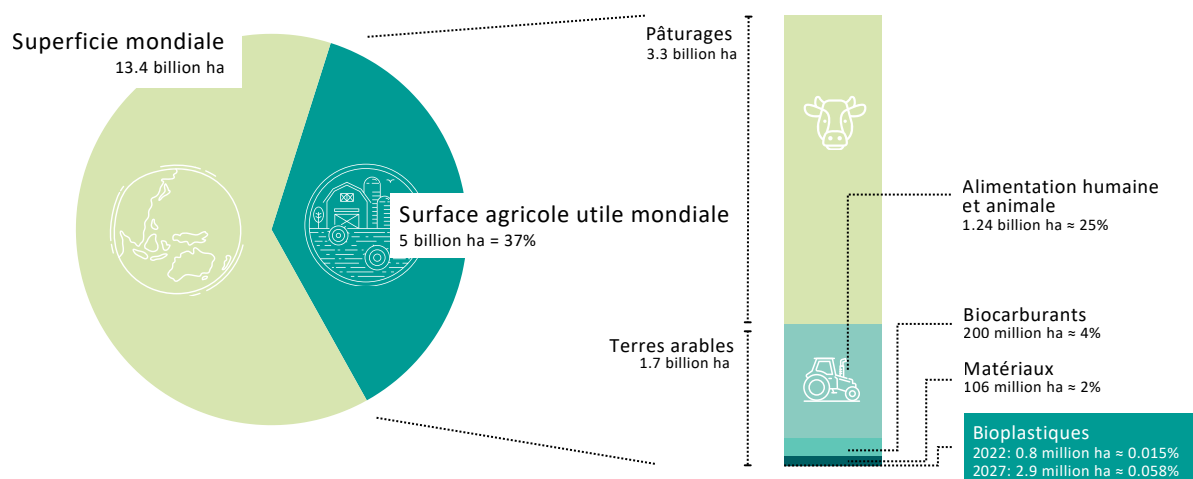


Schéma 5: Estimation de l'utilisation des terres pour les bioplastiques en 2022 et prévisions pour 2027. [4]

En 2022, comme présenté dans le schéma 5, les terres arables dédiées à la culture de matières premières renouvelables destinées à la production de bioplastiques représentaient environ 0.8 million d'hectares [4]. Ce chiffre reste remarquablement modeste, représentant seulement 0,015 % de l'ensemble du paysage agricole mondial qui s'étend sur 5 milliards d'hectares. La production mondiale de bioplastiques étant sur le point de connaître une expansion significative au cours des cinq prochaines années, les terres arables utilisées pour la production de bioplastiques augmenteront effectivement, mais modérément, à un niveau inférieur à 0,06 %. Ces statistiques soulignent le fait qu'il n'y a pas de concurrence immédiate entre les ressources allouées à l'alimentation humaine et animale et l'industrie croissante des bioplastiques.

D'autre part, l'approvisionnement responsable en matières premières est nécessaire à l'obtention de produits biosourcés durables. L'utilisation de matières premières non durables pourrait avoir un impact néfaste sur notre environnement, par exemple dans le cas d'une déforestation massive. Il en va de même pour les critères sociaux et les droits de l'homme. La sélection de matières premières récoltées selon de bonnes pratiques agricoles et couvertes par des normes sociales fait partie de la stratégie d'approvisionnement de Futerro.

LE PLA, L'UNE DES UTILISATIONS LES PLUS EFFICACES DU CARBONE BIOGÉNIQUE DANS LE SECTEUR DE LA BIOÉCONOMIE

La production de PLA présente l'avantage d'utiliser moins de sucre par unité de produit que le bioéthanol, le bio-PET et le bio-PE. Parmi les produits biosourcés, le PLA est donc l'un des produits nécessitant le moins d'utilisation de surface agricole (Schéma 6). Cette utilisation efficace des surfaces agricoles diminue la demande en ressources et contribue à une utilisation plus responsable des matières premières ; tout en proposant un bioplastique polyvalent aux propriétés environnementales intéressantes pour une large gamme d'applications.

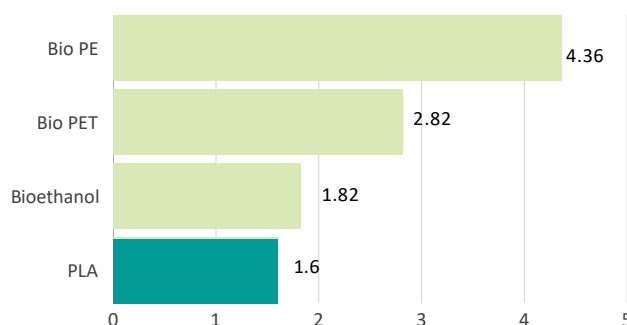


Schéma 6: Consommation de sucre par type de biomatériaux (kg.eq). [5]

SÉLECTION DES MATIÈRES PREMIÈRES

LE BLÉ COMME MATIÈRE PREMIÈRE RENOUVELABLE

Les rendements agricoles par hectare de terres arables varient selon le type de culture et la région géographique. Avec l'augmentation de la population mondiale et de la demande de ressources, la disponibilité des terres arables pourrait devenir limitée. Il est donc essentiel d'utiliser les cultures les plus efficaces possibles.

Production de PLA à partir de blé : Optimiser chaque grain



Cette estimation est fournie à titre d'exemple : les valeurs réelles peuvent varier annuellement. Cette variation est due à différents facteurs, tels que la qualité du grain, les conditions climatiques durant la croissance du blé, et de nombreuses autres influences environnementales.

Schéma 7: Production de sous-produits lors de la production de PLA à partir du blé. © Futerro

Comme présenté dans le schéma 7, pour 1 KG de PLA, de nombreux sous-produits à forte valeur ajoutée peuvent être extraits. Le blé permet d'extraire par exemple du son et du gluten. Le PLA est ensuite produit avec la partie la moins précieuse de la plante, l'amidon (portion glucidique), qui est principalement utilisée aujourd'hui pour la production de bioéthanol ou de carton par exemple.

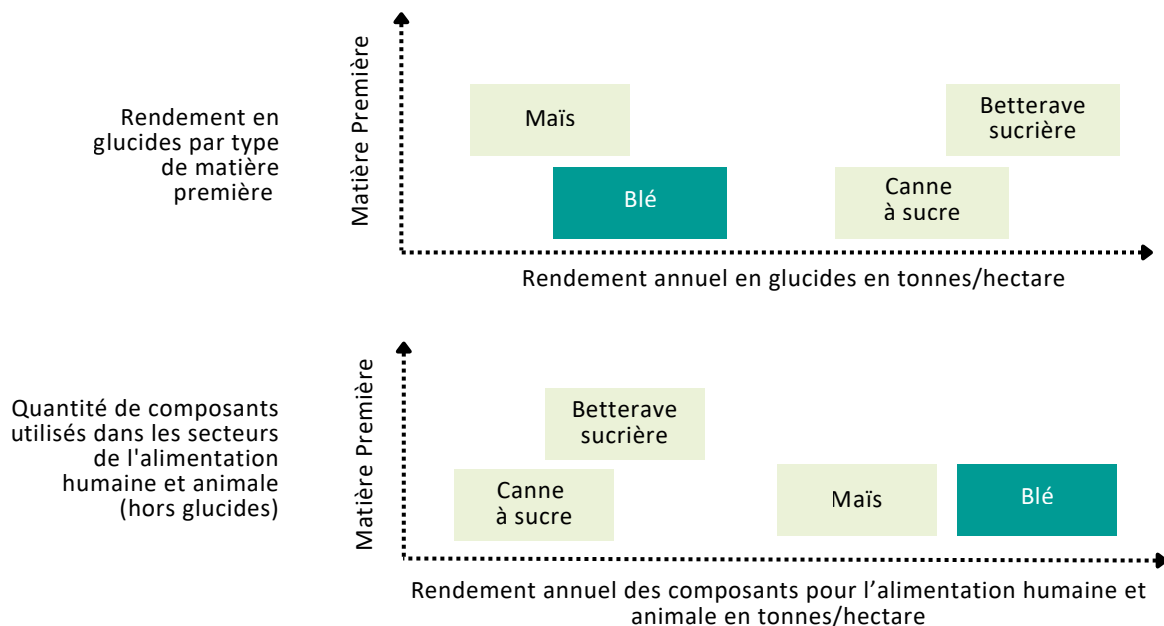


Schéma 8: Classement des principales cultures productrices de sucre par productivité en glucides et en composants alimentaires. [6]

Pour sa future bioraffinerie en France, Futerro a choisi d'utiliser uniquement du blé local, cultivé à proximité, comme matière première pour la production de PLA. Contrairement à la canne à sucre ou à la betterave sucrière, les co-produits du blé sont variés et ont une grande valeur ajoutée, notamment dans les secteurs alimentaires (Schéma 8).



LES AVANTAGES D'UNE MATIÈRE PREMIÈRE BIOSOURCÉE

Selon une étude récente de Nova Institute [6], l'utilisation de biomasse dans les applications industrielles a le potentiel de remplacer les matières premières d'origine fossile et donc de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre afin de lutter contre le changement climatique. Tout en reconnaissant le besoin direct de lutter contre la faim dans le monde, le rapport affirme que l'utilisation de cultures vivrières et fourragères dans le secteur des produits chimiques et des matériaux n'aggraverait pas l'insécurité alimentaire.

La sélection d'une matière première annuellement renouvelable pour la production de matériaux biosourcés offre plusieurs avantages, notamment dans un contexte de durabilité et de préoccupations environnementales :

- ***DURABILITÉ***

Les matières premières annuellement renouvelables proviennent de plantes, de cultures ou d'autres ressources qui peuvent être replantées et récoltées chaque année. Cela garantit un approvisionnement continu et durable en matières premières, sans épuiser de ressources non-renouvelables, qui sont par définition, limitées.

- ***RÉDUCTION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL***

L'utilisation de matières premières renouvelables annuellement induit généralement une empreinte carbone plus faible par rapport aux ressources fossiles et non renouvelables. La culture et la récolte de ces matières premières durables entraînent généralement moins d'émissions de gaz à effet de serre, induisant une plus faible dégradation de l'environnement.

- ***SÉCURITÉ ALIMENTAIRE***

En raison de la grande valeur des co-produits riches en protéines ou en huile des cultures alimentaires et fourragères, la disponibilité globale des cultures comestibles stockables et redistribuables en période de crise atténue les risques de famine régionale, déclenchés par des perturbations d'approvisionnement par exemple.

- ***AVANTAGES ÉCONOMIQUES***

La culture et la transformation de ces matières premières peuvent créer des emplois et stimuler les économies locales dans les zones rurales. Cela peut avoir un impact économique positif sur les communautés et les régions qui dépendent de l'agriculture et des ressources naturelles.

- ***STABILITÉ DU MARCHÉ***

Le risque de pénuries et de pics de spéculation est réduit par la disponibilité accrue à l'échelle mondiale des cultures alimentaires et fourragères.

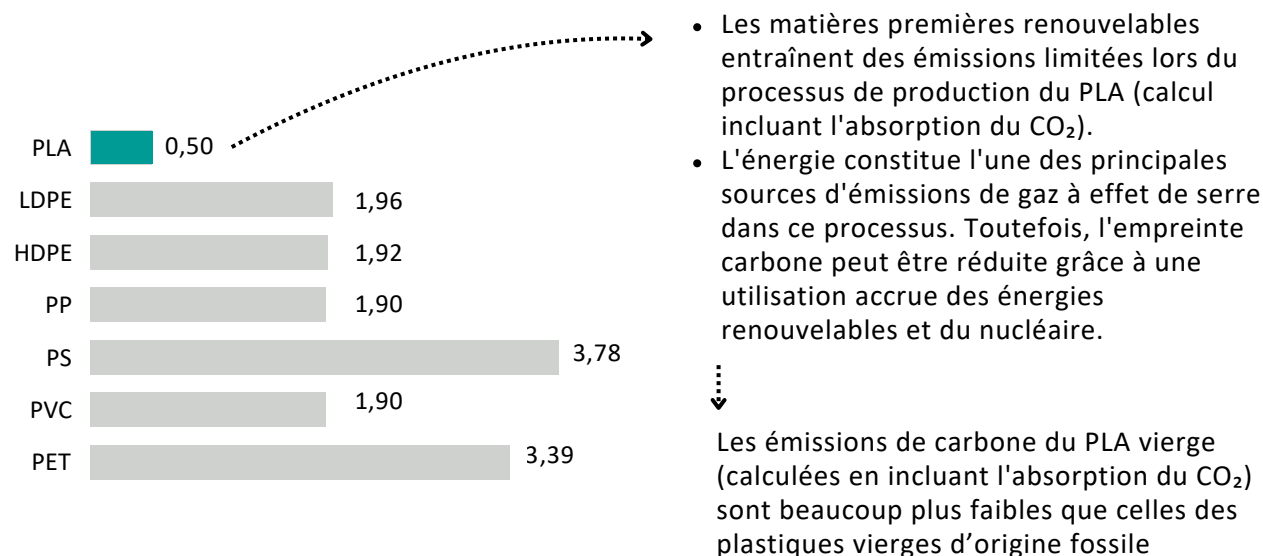
RESSOURCES NON OGM

Les technologies de Futerro ne sont pas basées sur des micro-organismes génétiquement modifiés (ou « OGM »). Futerro ne sélectionne donc pas de matières premières à base d'OGM pour sa production de PLA. En effet, les cultures génétiquement modifiées peuvent entraîner des conséquences environnementales imprévues, comme le développement de ravageurs résistants ou une diminution de la biodiversité. La décision d'utiliser uniquement de matières premières non génétiquement modifiées a été prise afin d'atténuer ces risques et pour garantir une agriculture durable pour les décennies à venir en Europe et en France.



EMPREINTE CARBONE

Le PLA représente une alternative prometteuse et durable aux plastiques à base de matières fossiles, notamment car il réduit considérablement l'empreinte carbone de ce type de produit. Il joue ainsi un rôle clé dans la transition industrielle et écologique française et européenne.



Cette analyse est fournie à titre indicatif: les résultats des différentes études ne peuvent être directement comparés en raison de divergences dans les hypothèses et les méthodologies employées. L'analyse officielle du cycle de vie du PLA produit par notre future bioraffinerie en France sera disponible une fois que celle-ci sera opérationnelle.

Schéma 9: Empreinte moyenne en CO₂ des principaux plastiques pétro-sourcés comparée aux données moyennes du marché pour le PLA vierge. © Futerro. (Source: TÜV Rheinland - BAFA, Probas, Materia Nova).

Afin de garantir un approvisionnement durable en matières premières, il est crucial pour notre société d'explorer des ressources alternatives pour la fabrication de bien essentiels. L'utilisation de plastiques biosourcés comme le PLA offre une solution prometteuse pour réduire notre dépendance à l'égard des ressources fossiles. Le PLA se démarque ainsi nettement des plastiques traditionnels, dont l'impact environnemental est bien plus important, comme le montre le Schéma 9.

Contrairement aux plastiques traditionnels, le PLA étant produit à partir de matières premières renouvelables a l'avantage d'absorber et de séquestrer du CO₂ durant son processus de production. Cependant, la production de PLA reste dépendante de la consommation d'énergie, ce qui signifie qu'elle n'est pas encore neutre en carbone. Pour se rapprocher d'un bilan carbone neutre, l'augmentation de l'utilisation d'énergies renouvelables et décarbonée ainsi que l'inclusion de matières recyclées sera cruciale dans les prochaines années. Cela représente une opportunité pour Futerro avec son futur projet en France: au moins 10 % de l'énergie pourrait être directement issue du biogaz produit sur place grâce au traitement des eaux usées, et la mise en œuvre de la première installation européenne de recyclage chimique pour les produits à base de PLA permettra de réduire encore l'empreinte carbone des produits et ainsi décarboner davantage la bioraffinerie.

Le PLA se démarque comme étant l'un des polymère biosourcé les plus utilisés et commercialement viables, notamment dans de nombreuses applications où il est essentiel de réduire l'empreinte carbone élevée des plastiques traditionnels. En raison de sa nature renouvelable, le PLA joue un rôle clé dans la transition vers une production de matériaux plus durable.

PRÉSENTATION DU PROJET DE BIORAFFINERIE INTÉGRÉE

Futero projette de construire une bioraffinerie capable de produire 75.000 tonnes de PLA par an, via des technologies brevetées et propriétés de la société

La production est prévue sur un site de 26,5 hectares, situé dans la zone industrielle portuaire de Port-Jérôme II, sur la commune de Saint-Jean-de-Folleville, en Normandie, en France.

L'investissement estimé s'élève à environ 500 millions d'euros et permettrait de créer 250 emplois directs et 900 emplois indirects localement. Le PLA produit par l'usine serait principalement destiné aux marchés européens.

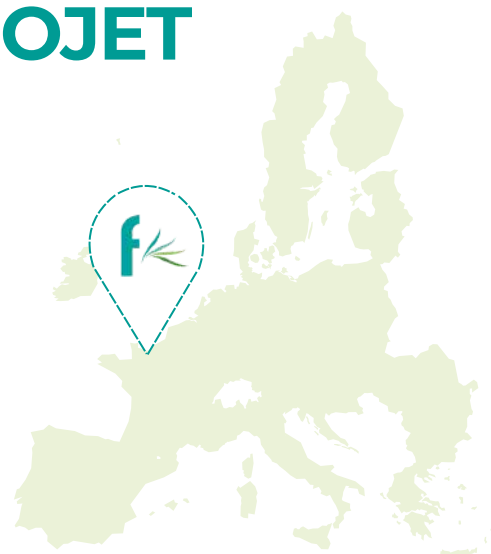


Schéma 10. Localisation de la future bioraffinerie de Futero. © Futero

La bioraffinerie de Futero comprendrait trois unités principales, distinctes et complémentaires (ou « ISBL ») :

- Une unité de fermentation dans laquelle du sucre issu d'amidon de blé durable serait transformé en acide lactique,
- Une unité de polymérisation pour transformer l'acide lactique en lactide et en PLA,
- Une unité de recyclage de PLA qui, grâce à la technologie brevetée LOOPLA®, permettra la production de PLA de qualité vierge en recyclant les déchets de PLA post-industriels et post-consommation.

Des installations de support sont également prévues pour assurer le bon fonctionnement du site (ou « OSBL ») :

- Une station de traitement des eaux usées produisant également du biogaz consommé directement sur site,
- Une chaudière à gaz pour fournir au site de l'énergie à partir de gaz naturel et de biogaz,
- Des zones de stockage pour les matières premières et les produits finis,
- Des bureaux administratifs et des parkings pour le personnel et les visiteurs.

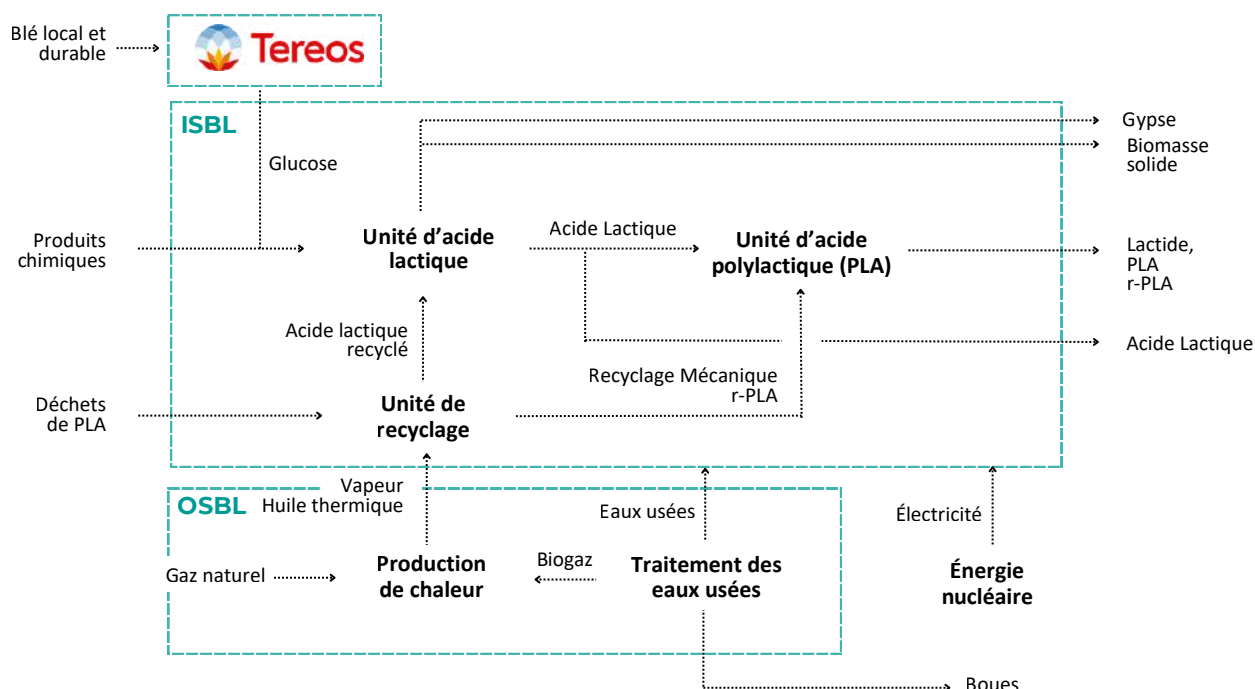


Schéma 11. Vue schématique de la future bioraffinerie de Futero. © Futero

MATIÈRES PREMIÈRES DURABLES POUR NOTRE PROJET DE BIORAFFINERIE

Avec son projet de bioraffinerie en France, Futerro s'engage à promouvoir le secteur de la bioéconomie en France et en Europe, tout en respectant l'environnement local et le secteur agricole. La bioraffinerie sera située dans une zone industrialo-portuaire, au cœur de la plus grande région productrice de blé d'Europe. La diversité des territoires de production et les rendements, parmi les meilleurs au monde, garantissent un approvisionnement régulier en matières premières. C'est pourquoi Futerro a choisi de se fournir directement auprès de producteurs français locaux (voir Schéma 12)

UN APPROVISIONNEMENT LOCAL ET UNE QUALITÉ FRANÇAISE RÉPONDANT À DES CRITÈRES DE DURABILITÉ

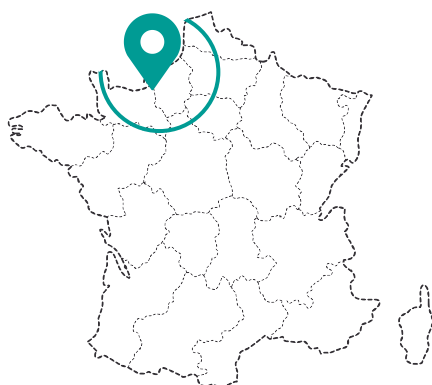


Schéma 12. Origine du blé pour notre future bioraffinerie. © Futerro

Futerro a choisi d'externaliser l'approvisionnement en blé, son stockage et sa transformation en glucose à un partenaire local : la coopérative agricole Tereos.

Tereos adhère à une politique RSE stricte, basée sur cinq valeurs principales : (1) agriculture durable, (2) protection de l'environnement, (3) préservation des ressources, (4) consommation responsable, et (5) développement local

Le partenaire de Futerro, Tereos, a obtenu le certificat 2BS [7], ce qui lui permet de démontrer, via un audit indépendant, sa conformité aux critères de durabilité établis par la Directive européenne 2009/28/CE, modifiée par les Directives 2013/18/UE du Conseil du 12 mai 2013 et 2015/1513 du Parlement européen et du Conseil du 9 septembre 2015. Bien que ces réglementations et directives s'appliquent au secteur du bioéthanol, le PLA, utilisant les mêmes matières premières, suit donc une logique similaire (voir Schéma 13).

Ces mesures définissent des exigences et imposent le respect de plusieurs types de critères quantitatifs et qualitatifs :

- Le blé ne doit pas provenir de terres à "haute valeur" en termes de biodiversité ou de stockage du carbone, ni de tourbières asséchées.
- Les matières premières doivent être conformes à la section Environnement de la conditionnalité de la PAC et aux Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales (ou « BCAE »).
- Un système de bilan de masse est mis en place pour chaque unité logistique.
- Un système de contrôle est mis en œuvre pour chaque acteur de la chaîne.

Cette approche permet de certifier comme durable, au sens de la directive européenne, la biomasse utilisée comme matière première ainsi que l'amidon qui en est issu. Ainsi, la matière première de Futerro en France et ses produits dérivés (acide lactique, lactide et PLA) seront considérés comme durables.



Schéma 13. Principe de durabilité pour la future usine de Futerro en Normandie. © Futerro

LIEN AVEC LE SECTEUR AGRICOLE FRANÇAIS

Le blé est principalement composé d'amidon, représentant 65 à 70% de sa masse. Le gluten, sa fraction protéique, représente 10 à 12 %, et la portion restante est principalement constituée de fibres. Par conséquent, selon les estimations de Futerro, la future bioraffinerie utiliserait un peu moins de 300 000 tonnes de grains de blé à pleine capacité de production.

En tenant compte de la production récente de blé en France rapportée par France AgriMer [8] lors de la campagne de production 2021/2022, la production totale de blé en France (38,5 millions de tonnes par an - 100%) est valorisée comme suit :

- 45,05 % est exporté, principalement vers l'Europe
- 20,17 % est utilisé pour l'alimentation animale
- 10,48 % est transformé pour la consommation humaine
- 7,28 % est stocké pour l'année suivante
- 7,18 % est utilisé pour la production d'amidon ou de gluten
- 4,32 % est utilisé pour la production de bioéthanol
- 4,98 % est utilisé à diverses fins, y compris alimentaires, non alimentaires, semences et pertes
- 0,55 % provient de l'importation

En se basant sur la capacité moyenne de production de blé en France entre 2010 et 2020, avec une productivité estimée à 7,1 tonnes par hectare, on peut déduire que les besoins de Futerro représenteront moins de 0,80 % de la capacité totale de production de blé en France. Cela équivaut à utiliser moins de 0,1 % de la superficie totale du territoire continental français (voir Schéma 14).

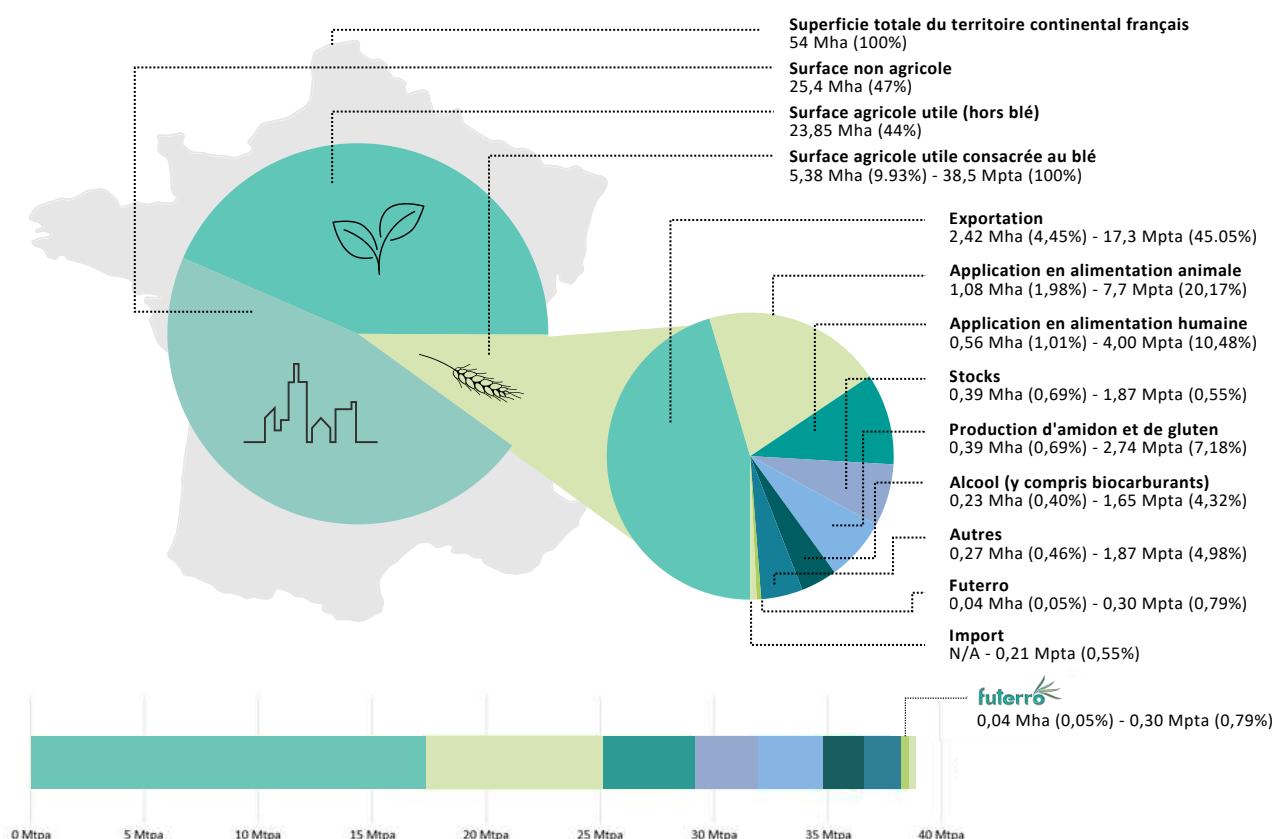


Schéma 14. Utilisation du blé par application en France en 2021/2022, en tenant compte des besoins de la future usine Futerro en Normandie. (Mha Million Hectares, Mtpa Million tonnes par an). © Futerro (basé sur France AgriMer 2021/2022 [8])

IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DE NOTRE PROJET EN NORMANDIE

La future bioraffinerie sera une installation classée pour l'environnement (ICPE) et devra donc suivre une procédure d'autorisation environnementale. L'objectif de cette procédure est de permettre à Futerro de démontrer la conformité du projet avec les risques et impacts identifiés.

Le Code de l'Environnement français précise les éléments à inclure dans le dossier de Demande D'Autorisation Environnementale (ou « DDAE »). Ce dossier doit comporter des informations techniques telles que la description du projet, des processus de fabrication, des matériaux et substances utilisés, ainsi que des moyens de surveillance et de contrôle. Il doit également permettre d'identifier les enjeux au travers une note de présentation non technique, une étude de danger et surtout une étude d'impact. Réalisée sur la base d'une évaluation environnementale complète, cette dernière constitue la partie la plus importante du dossier, couvrant les effets globaux du projet. Le projet de Futerro est conçu et construit pour respecter l'approche suivante (tableau 1) :

Impact Environnemental	Actions
Faune & Flore	Une étude sur la faune et de la flore a été réalisée. Le projet intégrera toutes les mesures nécessaires pour préserver la faune et la flore locales en consultation avec les autorités locales et en tenant compte des projets voisins. Futerro s'engage à compenser en réhabilitant une superficie équivalente à 1,5 fois celle des zones impactées par le projet. En d'autres termes, il s'agit d'une superficie d'environ 40 hectares qui servira de sanctuaire pour préserver la nature.
Secteur Agricole	Bien que le site soit situé dans une zone industrielle, une partie du terrain prévu pour la bioraffinerie est actuellement utilisée à des fins agricoles et est donc éligible à une compensation agricole. Futerro s'engage à compenser ses impacts en contribuant financièrement à un fonds public destiné à promouvoir le développement de l'agriculture locale et durable
Population	Pour éviter tout impact négatif sur la population locale, plusieurs actions sont envisagées : • Une modélisation acoustique est incluse dans l'étude pour évaluer et limiter l'impact du projet. Futerro surveillera les émissions sonores conformément à la réglementation en vigueur et mettra en œuvre des mesures de réduction du bruit sur les équipements les plus bruyants. • Toutes les substances susceptibles de générer des odeurs seront stockées dans des zones fermées, ventilées et filtrées afin d'éviter toute nuisance.
Eau	Le projet prévoit la consommation d'eau potable à des fins sanitaires et d'eau industrielle provenant de fournisseurs locaux pour les processus de production et la sécurité (protection contre les risques d'incendie). Les eaux usées domestiques seront traitées dans une station autonome avant leur rejet dans l'environnement naturel, avec un suivi conforme à la réglementation locale en vigueur.

Tableau 1 : Engagements de Futerro pour réduire les impacts environnementaux du projet. © Futerro

LES ENGAGEMENTS DE FUTERRO SUR UN PLAN LOCAL



Préserver la faune & la flore locale



Soutenir le secteur agricole



Gérer l'eau de manière appropriée



Maintenir la qualité de vie sur le territoire

FUTERRO ET LA TAXONOMIE EUROPÉENNE

La taxonomie de l'Union Européenne (UE) constitue un pilier essentiel du cadre de financement durable de l'UE et joue un rôle clé en améliorant la transparence du marché. Son objectif principal est de diriger les investissements vers des activités économiques cruciales pour la transition, en ligne avec les objectifs du Green Deal européen. Ce système de classification établit des critères pour les activités économiques qui contribuent à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050 et répondent à des objectifs environnementaux plus larges, au-delà des seuls enjeux climatiques.

Notre projet en France adhère aux garanties sociales minimales décrites dans les conventions existantes et les lignes directrices des Nations Unies pour être considéré comme « vert » dans le cadre de la taxonomie européenne :



Critères	Réponses de Futerro
Atténuation du changement climatique	Étant biosourcé et ayant une faible empreinte carbone, l'impact du PLA est limité par rapport aux plastiques traditionnels.
Adaptation au changement climatique	Le PLA a le potentiel de remplacer plusieurs plastiques d'origine fossile qui sont reconnus comme nuisibles à notre environnement.
Utilisation durable et protection des ressources aquatiques et marines	Dans le cadre du projet de bioraffinerie, Futerro doit répondre à différents critères et normes environnementaux qui sont nécessaires aux autorisations de construction et d'opération. Ainsi, Futerro sera conforme avec les cadres légaux sur base d'éléments juridiques contraignants.
Transition vers une économie circulaire	Le PLA, avec ses multiples options de fin de vie, favorise la circularité de l'industrie plastique et diminue notre dépendance aux ressources fossiles.
Prévention et contrôle de la pollution	Le PLA est considéré comme non persistant dans l'environnement, compostable industriellement et recyclable.
Protection et restauration de la biodiversité et des écosystèmes	Le PLA est fabriqué avec des matières premières reconnues comme durables : sa production n'a pas d'impact sur la biodiversité et les écosystèmes. Concernant les impacts de la construction de la bioraffinerie, des mesures compensatoires et de réhabilitation sont prévues.

GRANDE DIVERSITÉ D'APPLICATIONS

Grâce à ses propriétés mécaniques, le PLA est un matériau polyvalent qui peut être utilisé dans diverses industries et secteurs d'applications. Celui-ci peut être utilisé pur ou modifié, en fonction des caractéristiques souhaitées ou des performances et des applications ciblées. Quelques exemples sont présentés ci-dessous :

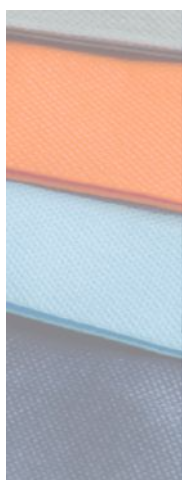
● Mise en forme ● Esthétique ● Propriétés mécaniques ● Autres propriétés ● Certification ● Fin de vie



EMBALLAGES ET PRODUITS À USAGE UNIQUE

Capsule de café, pots de yaourt, bouteilles

- Transparent
- Colorable
- Bonnes propriétés de barrière
- Scellable pour éviter les fuites
- Réutilisable
- Approuvé pour le contact alimentaire
- Compostable
- Recyclable



FIBRES ET NON-TISSÉS

Couches, couettes, vêtements

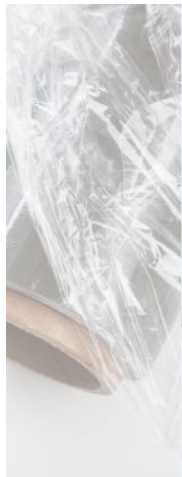
- Colorable
- Bonne ténacité
- Respirant
- Bonne absorption
- Toucher doux (comme le coton)
- Compostable
- Recyclable



PRODUITS ROTOMOULÉS

Bacs, automobile

- Température de mise en forme réduite
- Bonne fluidité
- Transparent
- Rigidité
- Solidité
- Haute stabilité dimensionnelle



FILMS

Films transparents, films agricoles

- Transparent
- Colorable
- Propriétés de barrière modérées
- Scellable pour éviter les fuites
- Approuvé pour le contact alimentaire
- Compostable
- Recyclable



PRODUITS DE CONSOMMATION

Pièces moulées par injection ou imprimées en 3D

- Température de mise en forme réduite
- Pas de fumées toxiques pendant l'impression 3D
- Bonne esthétique de surface
- Imprimable
- Bonnes propriétés mécaniques
- Bonne stabilité dimensionnelle



MÉDECINE ET CHIRURGIE

Filtres, fils de suture, blouses, implants, microcapsules

- Processabilité
- Fonctionnalisation
- Biocompatibilité
- Bactériostatique
- Non persistant

APERÇU DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DU PLA

Le PLA possède une bonne résistance mécanique et une bonne rigidité, ce qui le rend adapté à la fabrication de produits solides comme des gobelets, des bouteilles ou des matériaux d'emballage.

De plus, le PLA a une excellente imprimabilité et peut être facilement moulé en différentes formes, ce qui en fait un matériau idéal pour l'impression 3D et le moulage par injection. Le PLA présente également une bonne barrière contre les arômes, une barrière modérée à l'oxygène et une faible barrière à la vapeur, ce qui le rend adapté à l'emballage alimentaire.

Le PLA peut être limité par sa faible résistance à la chaleur : ayant une température de transition vitreuse relativement basse, il peut commencer à se déformer ou même à fondre lorsqu'il est exposé à la chaleur. Comme solution, certains additifs peuvent être utilisés (par exemple, un agent de nucléation) pour augmenter sa cristallinité, ou un compound à base de PLA peut être sélectionné pour des applications nécessitant des températures de fonctionnement élevées, comme dans l'automobile, l'électronique et les appareils électroménagers.

Caractéristiques principales	Proposition de valeur et applications ciblées
Haute Rigidité	Réduction de la jauge
Haute Transparence - Brillance	Emballage alimentaire - Esthétique - Cosmétique
Haute perméabilité à l'eau	Textile ou emballage respirant
Barrière aromatique et huileuse	Emballage
Énergie de surface élevée	Impression facile vs. PP/PE
Excellente résistance à la torsion	Alternative à la cellophane pour les applications de film
Très faible rétrécissement	Précision dimensionnelle
Température d'amorçage du scellage à basse température	Films thermoscellables
Colorabilité	Facile à colorer avec un mélange de base
Recyclage Mécanique	Option de fin de vie pour les matériaux purs
Recyclage Chimique	Applications en contact avec les aliments - option de fin de vie pour les applications multicouches, les matériaux additivés ou composites
Industriellement compostable	Intérêt pour des applications spécifiques (sachets de thé, capsules de café, couches, etc.)

Tableau 2: Principales caractéristiques du PLA. © Futerro

PLA COMME SUBSTITUT AUX PLASTIQUES D'ORIGINE FOSSILE

Dans l'ensemble, bien que le PLA pur présente de nombreuses caractéristiques essentielles, sa résistance moyenne à la chaleur, sa fragilité et sa sensibilité à l'humidité peuvent représenter des limitations qu'il faut prendre en compte lorsque l'on envisage de l'utiliser pour différents marchés et dans différentes applications. Le développement de compounds à base de PLA et l'utilisation d'additifs ou de charges permettent cependant d'améliorer ses propriétés mécaniques (tableau 3).

Limites du PLA pur	Solutions
Fragilité	Modificateurs d'impact - Plastifiants
Faible taux de cristallisation / cristallinité	Agent de nucléation
Faible résistance à la chaleur	Matières de charge, agents de nucléation, mélanges
Faible résistance à l'hydrolyse	Agent anti-hydrolyse, fonctionnalisation

Tableau 3. Limitations techniques du PLA et solutions. © Futerro

Le tableau 4 présente une comparaison générale entre les principaux plastiques traditionnels et le PLA pur en termes de propriétés. Le PLA pur peut rivaliser avec le PET et le PS. En ce qui concerne le HDPE, le PP, le PVC rigide, le PS (choc), le PA, l'ABS et le PC, le PLA devrait être additivé et/ou transformé en un compound pour atteindre des performances mécaniques similaires, en fonction de l'application envisagée.

	PLA Pur	Commentaires
HDPE	●	Nécessité d'assouplir le PLA, attention à la rhéologie dans l'extrusion en utilisant des additifs ou des compounds
LDPE	●	Trop flexible pour être remplacé par du PLA pur
PP	●	Nécessité d'assouplir le PLA en utilisant des additifs ou des compounds
PVC Rigide	●	Besoin d'une amélioration de la résistance aux chocs et de la résistance thermique à l'aide d'additifs ou de compounds
PVC Flexible	●	Trop flexible pour être remplacé par du PLA pur
PET	●	Pas de difficultés importantes à remplacer
PS	●	Pas de difficultés importantes à remplacer
PS (choc)	●	Peut exiger l'ajout de modificateurs d'impacts ou le mélange de PLA pur avec un autre bio-polyester flexible
PA	●	Besoin d'une amélioration de la résistance aux chocs et de la résistance thermique à l'aide d'additifs ou de compounds
ABS	●	Besoin d'une amélioration de la résistance aux chocs et de la résistance thermique à l'aide d'additifs ou de compounds
PC	●	Besoin d'une amélioration de la résistance aux chocs et de la résistance thermique à l'aide d'additifs ou de compounds

● Facile à remplacer ● Nécessite une modification ● Impossible à remplacer

Tableau 4 : Comparaison du PLA avec les plastiques traditionnels d'origine fossile. © Futerro

OPTIONS DE FIN DE VIE DU PLA

Pour lutter contre le changement climatique, il est essentiel de réduire considérablement notre dépendance aux combustibles fossiles, et de le faire de toute urgence. Si cela implique une décarbonation du secteur de l'énergie, cette stratégie n'est pas viable pour les produits chimiques et les plastiques, qui sont pour la plupart fabriqués à partir de molécules carbonées, majoritairement d'origine fossile. D'autres stratégies sont donc nécessaires afin de transformer ces industries et matériaux en alternatives écologiquement responsables. Les matériaux biosourcés peuvent jouer, et joueront un rôle important dans le soutien de ces efforts.

La gestion de la fin de vie des produits en plastique est la clé d'une décarbonation et d'une circularité efficace. Le PLA est l'un des rares plastiques à être à la fois biosourcé, recyclable chimiquement ou mécaniquement, compostable industriellement et, selon l'application, réutilisable (voir Schéma 15).



Schéma 15 : Options de fin de vie des produits à base de PLA. © Futerro

COMPOSTAGE INDUSTRIEL

Le compostage industriel du PLA implique le traitement des déchets de PLA à grande échelle dans des installations spécialisées. Ces installations sont conçues pour créer des conditions optimales permettant la dégradation biologique du PLA, le transformant ainsi en compost de haute qualité en le décomposant en CO₂ et en H₂O. Le "Projet Minéral" soutenu par l'Université de Montpellier,

AgroParisTech et la Chaire CoPack [9] a d'ailleurs mis en évidence les nombreux avantages du compostage industriel. Cependant, cette fin de vie n'est pas adapté à toutes les applications et doit être privilégié pour gérer la fin de vie des produits avec une forte teneur en matière organique, elle-même biodégradable (par exemple : sachets de thé, couches, capsules de café, films agricoles, etc...).

RECYCLAGE MÉCANIQUE

Le recyclage mécanique suit les mêmes processus que les plastiques traditionnels. Les matières triées et nettoyées pour limiter de potentielles contaminations, sont broyées et/ou refondues pour former de nouveaux granulés de plastique recyclé [10].

RECYCLAGE CHIMIQUE

Le recyclage chimique du PLA, via la technologie brevetée LOOPLA®, permet de recycler à la fois les déchets de PLA purs et les déchets de PLA non purs. Cette technologie dépolymérise, c'est-à-dire décompose le PLA en le transformant en acide lactique, son monomère, à partir duquel Futerra peut produire à nouveau du PLA de qualité vierge. Selon une étude récente de Materia-Nova [11], le recyclage chimique du PLA peut être considéré comme l'une des technologies de recyclage chimique les plus efficaces.

TRI DU PLA

Le tri des déchets plastiques à base de PLA est une étape essentielle dans la gestion efficace des déchets et la promotion de pratiques de gestion durable des déchets. Le PLA peut être recyclé par différents procédés, mais pour garantir une efficacité maximale, il est crucial de le trier correctement.

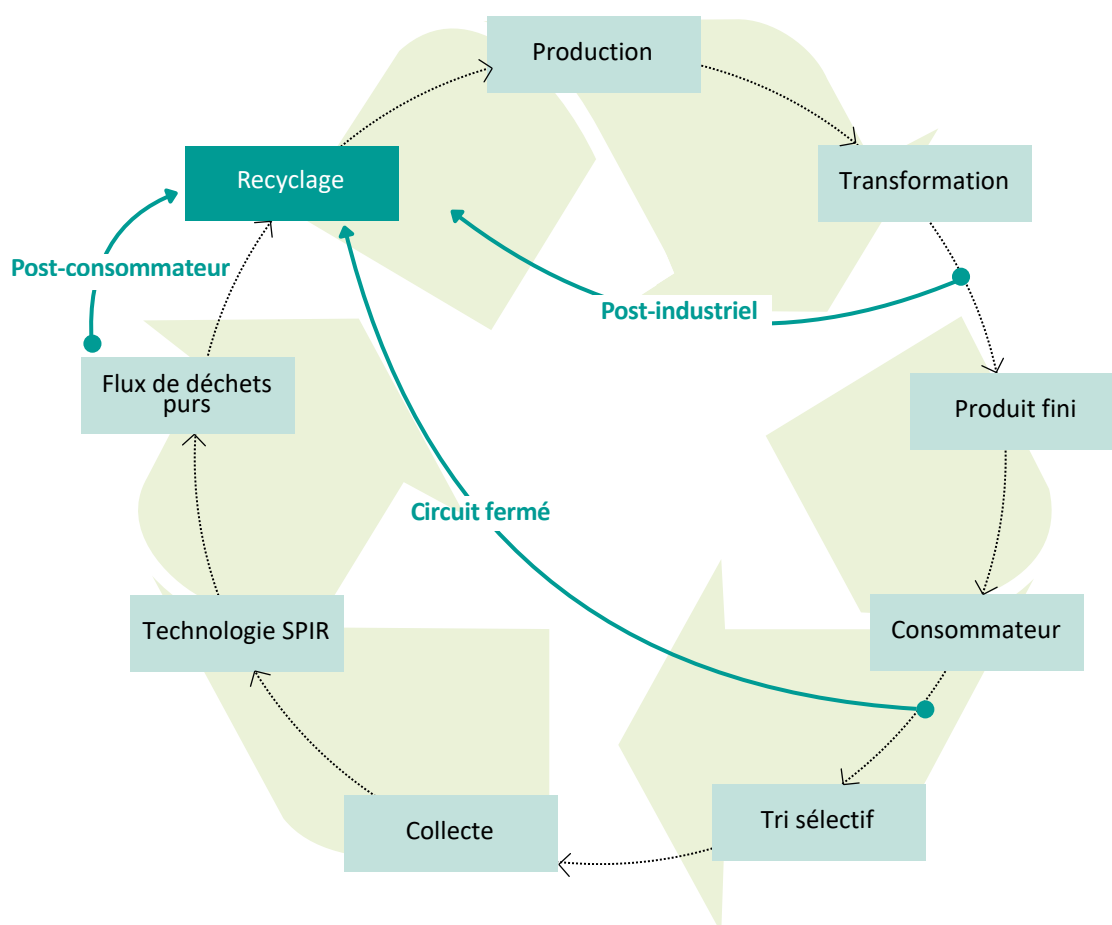


Schéma 16: Principe de collecte et de tri du PLA. © Futerro

Le PLA, comme tous les plastiques, rencontre certains défis en matière de gestion et de recyclage des déchets. S'il contamine d'autres flux de plastique, ou si d'autres plastiques contaminent le flux de PLA, cela pourrait dégrader la qualité du matériau recyclé. Il est donc primordial de séparer le PLA des autres plastiques avant de le recycler.

L'une des méthodes les plus courantes pour trier les plastiques est la spectroscopie dans le proche infrarouge (SPIR, ou NIR en anglais), qui utilise la lumière infrarouge pour identifier la composition chimique des différents matériaux. La technologie SPIR permet de distinguer facilement le PLA des autres plastiques tels que le PET, le PS et le PEHD, sur la base de leurs différents spectres d'absorption. En utilisant des capteurs et des caméras, l'équipement de séparation peut isoler le PLA des déchets plastiques mixtes le collecter séparément en vue d'un traitement ultérieur.

L'efficacité de ce processus pour le PLA a déjà été démontré à l'échelle industrielle [12, 13, 14 et 15]. Pour que celui-ci soit mis en œuvre à une échelle plus large, le volume de déchets à base de PLA dans le flux de déchets plastiques doit cependant encore augmenter ou être trié directement dans les centres de sur-tri.

COMPOSTAGE INDUSTRIEL

Le compostage industriel du PLA consiste à traiter les déchets de PLA à grande échelle dans des installations spécialisées. Ces installations sont conçues pour créer des conditions optimales permettant la dégradation biologique du PLA, le transformant ainsi en compost, en décomposant le PLA en composants organiques simples.

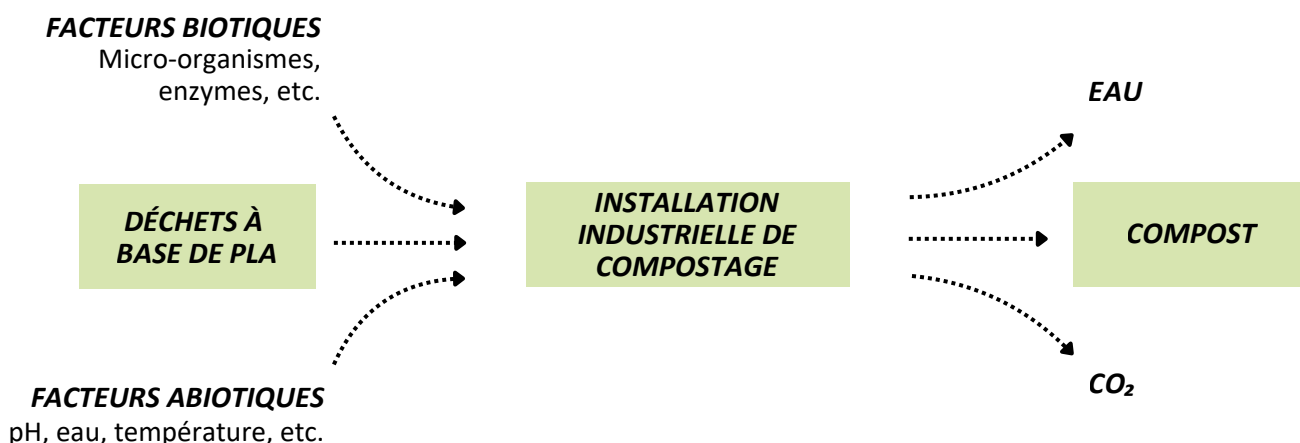


Schéma 17. Principes du compostage PLA. © Futerro

Le "Projet Minéral" soutenu par l'Université de Montpellier, AgroParisTech et la Chaire CoPack [9] a récemment démontré les nombreux avantages du compostage industriel des produits à base de PLA. Cette étude démontre que la présence de matériaux compostables tels que le PLA dans un lot de biodéchets destinés au compostage industriel augmente le rendement du compostage et n'a pas d'impact négatif sur la qualité agronomique, microbiologique et toxicologique du compost final obtenu.

Ce type de solution de fin de vie permet de réduire la quantité de déchets plastiques mis en décharge ou incinérés, contribuant ainsi à la préservation de l'environnement. Toutefois, il est important de noter que le compostage industriel du PLA nécessite des installations spécialisées et un processus de contrôle rigoureux pour garantir une dégradation efficace.

Nous recommandons de recourir au compostage industriel uniquement lorsque le recyclage n'est pas une option envisageable, et pour certaines applications spécifiques pour lesquelles ce type de fin de vie peut être intéressant, notamment si aucune autre voie de valorisation n'est possible (le film de paillage agricole, les capsules de café, les sachets de thé, les couches-culottes, etc.).

FIN DE VIE RECOMMANDÉE POUR LES PRODUITS À BASE DE PLA SUIVANTS :



RECYCLAGE MÉCANIQUE

Le recyclage mécanique des plastiques consiste à transformer les déchets plastiques en nouvelles matières premières réutilisables. Les plastiques sont triés et nettoyés pour éliminer les contaminants tels que la saleté, les étiquettes ou les résidus alimentaires, puis sont broyés en paillettes ou fondus pour former des granulés de plastique recyclé. Ce processus est similaire pour la plupart des plastiques, qu'ils soient biosourcés ou d'origine fossile.

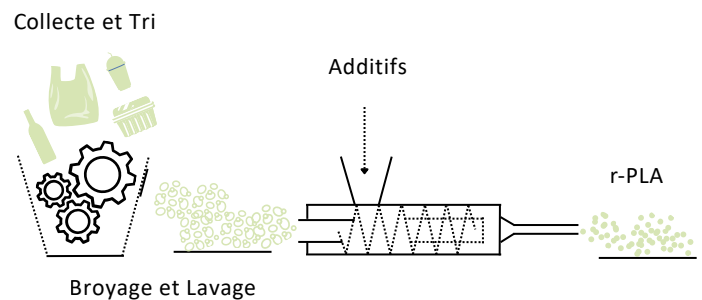


Schéma 18. Principe du recyclage mécanique du PLA. © Futerra

Le recyclage mécanique, bien que présentant des avantages, a également ses propres défis techniques. Tout d'abord, tous les plastiques ne peuvent pas être recyclés mécaniquement. Certains plastiques, tels que le polystyrène expansé (également connu sous le nom de « Styrofoam ») ou les produits multi-matériaux complexes, peuvent être difficiles, voire impossibles à recycler mécaniquement en raison de leur composition chimique ou de leur structure. Au cours du traitement thermomécanique, le polymère peut subir une dégradation de ses chaînes, ce qui peut nécessiter l'utilisation d'additifs.

Enfin, la qualité des plastiques recyclés mécaniquement est souvent inférieure à celle des plastiques vierges, ce qui peut entraîner par exemple, la perte des certificats d'alimentarité. En effet, les plastiques recyclés peuvent contenir des impuretés résiduelles ou perdre certaines de leurs propriétés au cours du processus de recyclage. Cela peut limiter leur utilisation dans des applications exigeantes telles que l'emballage alimentaire, les fibres et les non-tissés. Par conséquent, le tri des déchets de plastique devient une étape cruciale dans le processus de recyclage mécanique.

En 2023, les premières conclusions du projet BIOLOOP [10], développé par le CNRS et l'INSA, ont par exemple clairement démontré les avantages économiques et écologiques du recyclage mécanique du PLA, tout en exposant également ses limites techniques. Ces conclusions sont corroborées par le rapport de Materia Nova (voir Schéma 19).

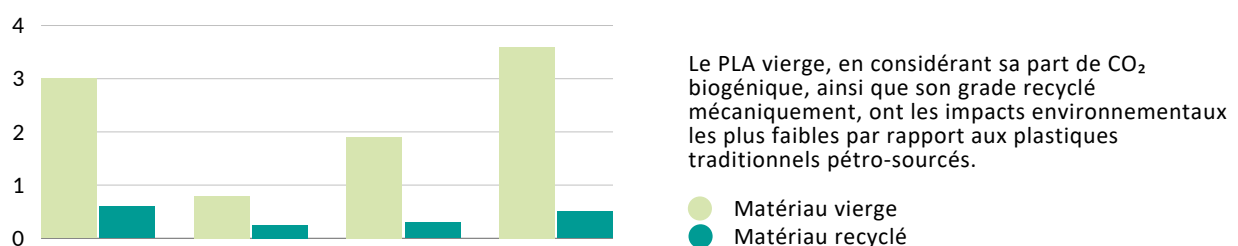


Schéma 19. Comparaison des impacts sur le changement climatique entre la production de polymères secondaires issus du recyclage mécanique et leurs équivalents vierges. © Materia Nova [11]

FIN DE VIE RECOMMANDÉE POUR LES PRODUITS À BASE DE PLA SUIVANTS :



RECYCLAGE CHIMIQUE

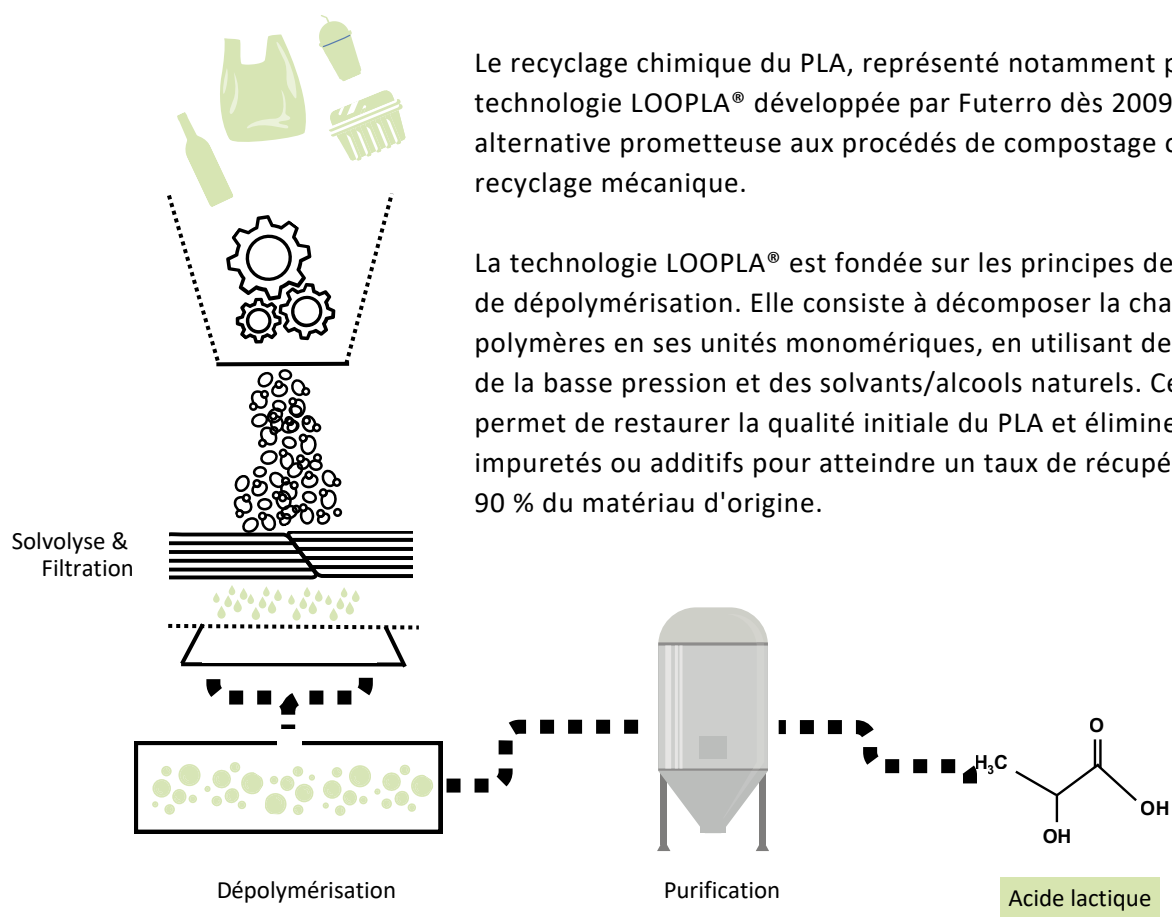


Schéma 20. Principe de recyclage LOOPLA®. © Futerro

Cette technologie fonctionne selon un principe entièrement circulaire et responsable. Les déchets contenant du PLA sont d'abord solubilisés dans un solvant organique naturel. À ce stade, les contaminants sont filtrés et peuvent être recyclés dans d'autres filières. La solution obtenue après la solubilisation subit une étape de dépolymérisation du PLA pour revenir à l'acide lactique. Enfin, la solution obtenue est purifiée et le monomère, l'acide lactique, peut être repolymérisé en PLA de qualité vierge.

En d'autres termes, le PLA recyclé chimiquement, a exactement les mêmes propriétés que celui issu de matières premières végétales, ce qui permet de l'utiliser dans des applications particulièrement exigeantes telles que l'emballage alimentaire (le PLA recyclé chimiquement conserve ses certificats d'alimentarité), l'automobile, le textile, etc.

FIN DE VIE RECOMMANDÉE POUR LES PRODUITS À BASE DE PLA SUIVANTS :



DÉGRADATION DU PLA DANS L'ENVIRONNEMENT

QUE SONT LES MICROPLASTIQUES ?

Les microplastiques primaires sont de petites particules de plastique directement libérées dans la nature lors de la fabrication, l'utilisation ou l'entretien d'objets plastiques de grande taille. Des exemples de microplastiques primaires incluent l'érosion des pneus lors de la conduite, les microbilles dans les cosmétiques et l'abrasion des textiles synthétiques lors du lavage.

Les microplastiques secondaires sont de plus petits fragments de plastique provenant de grands objets plastiques qui se dégradent une fois exposés à l'environnement, comme les déchets plastiques mal gérés ou les filets de pêche par exemple.

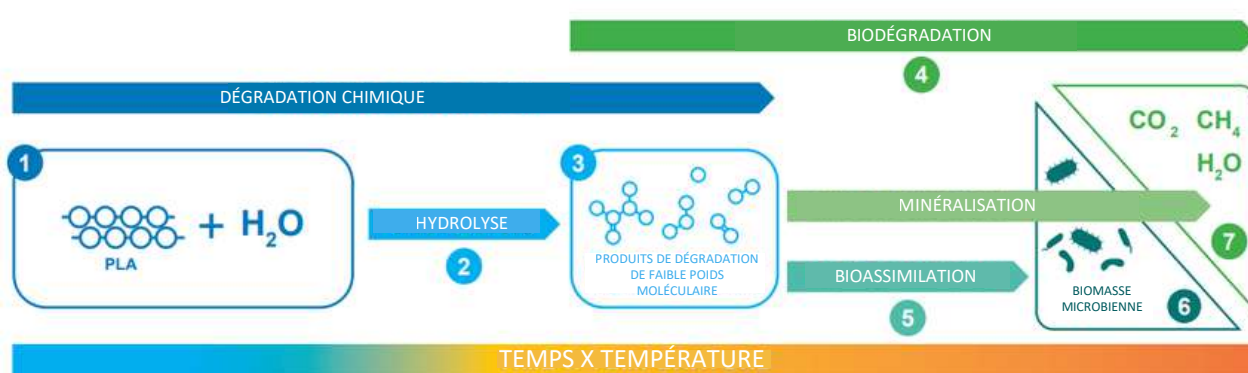
DÉGRADATION DU PLA PAR RAPPORT À D'AUTRES MATÉRIAUX DANS L'ENVIRONNEMENT

Tous les matériaux subissent une décomposition dans l'environnement due aux processus de fragmentation naturelle (facteurs abiotiques) et à la biodégradation via des organismes vivants (facteurs biotiques). Bien que le processus de dégradation reste cohérent entre le sol et les environnements aquatiques, le taux de dégradation peut varier en fonction des conditions environnementales.

Le PLA, un plastique biodégradable, se décompose par des processus naturels semblables à ceux des matériaux organiques tels que les feuilles ou le bois. Sa structure moléculaire étant sensible aux attaques chimiques de l'eau (ou « hydrolyse »), il se biodégrade complètement, sans laisser de particule de plastique persistante dans l'environnement en présence d'eau ou d'humidité [16].



Contrairement aux plastiques non biodégradables comme le PE, le PP ou le PS, qui ne disposent pas de mécanismes naturels de dégradation à faible énergie tels que l'hydrolyse et peuvent libérer des substances nocives, le PLA constitue une alternative plus respectueuse. Ce matériau se dégrade en acide lactique, une molécule naturellement présente dans le corps humain et facilement assimilée par de nombreux micro-organismes comme source de carbone, permettant ainsi une assimilation naturelle par l'environnement. Tandis que les plastiques traditionnels s'accumulent et peuvent nuire durablement à la planète, les matériaux comme le PLA, grâce à leur caractère non persistant dans l'environnement, génèrent des impacts temporaires et contribuent, à terme, à la régénération des écosystèmes.



En présence d'eau (1), le PLA subit une hydrolyse (2) en tant que processus chimique pur de dégradation des polymères, au cours duquel des intermédiaires de faible poids moléculaire (3) tels que des oligomères et des monomères d'acide lactique sont produits. Ceux-ci deviennent solubles et peuvent être biodégradés (4). Les microbes absorbent ces oligomères et monomères comme source de nourriture (5) et les utilisent pour former de la biomasse (6) et comme énergie pour leur métabolisme. En fin de compte, cela conduit à la minéralisation (7) du carbone d'origine du polymère en dioxyde de carbone, méthane et eau.

Schéma 21. Mécanismes de dégradation du PLA. © Hydra Marine Sciences [16]

DANS TOUS LES CAS, JETER DES DÉCHETS DANS LA NATURE N'EST JAMAIS LA BONNE OPTION

Jeter des déchets dans la nature n'est jamais une méthode appropriée pour se débarrasser des produits que nous utilisons quotidiennement, quelle que soit leur composition ou leur caractère non persistant. Tous les articles, qu'il s'agisse d'une serviette en papier, d'un gobelet compostable ou d'une bouteille en plastique, doivent être correctement éliminés. Les matériaux destinés au compostage doivent être collectés et traités dans des installations de compostage locales, et non jetés dans la nature. La dégradation environnementale des produits ne doit pas laisser entendre que jeter des déchets est une alternative acceptable à une élimination correcte des déchets.

ARBRE DÉCISIONNEL POUR LA FIN DE VIE DU PLA

Le schéma 22 présente un arbre décisionnel des diverses fins de vie du PLA, qui aide à mieux comprendre les différentes options.

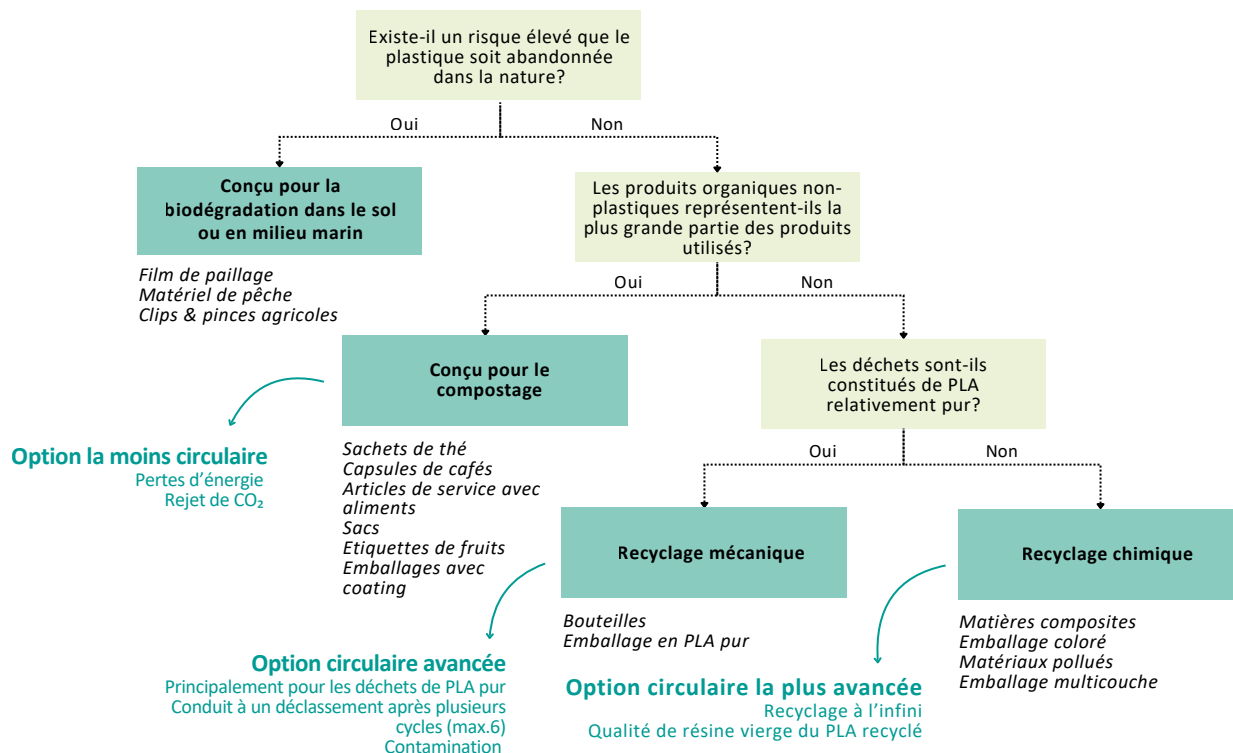


Schéma 22. Arbre décisionnel de la fin de vie du PLA. © Futerro

L'arbre décisionnel considère les critères suivants :

- **Le risque que le plastique se retrouve dans l'environnement** : certains produits fabriqués avec du PLA, tels que des films agricoles ou du matériel de pêche, peuvent être conçus pour se biodégrader directement dans le sol ou l'eau après utilisation pour réduire le risque de pollution plastique (pour ces applications, le PLA doit être associé à certains additifs ou à d'autres types de polymères également biodégradables)
- **La part de matériaux organiques compostables dans le produit** : Certains produits en PLA, tels que les sachets de thé, les capsules de café ou les emballages de fruits, contiennent des matériaux organiques qui peuvent être compostés en même temps que le PLA. Ces produits peuvent être envoyés dans des installations de compostage industriel, où ils se décomposent en dioxyde de carbone, en eau et en biomasse.
- **La pureté du flux de déchets** : Certains produits en PLA, comme les bouteilles ou les emballages, sont généralement suffisamment purs pour être recyclés mécaniquement. Ceux-ci peuvent être collectés et triés par des systèmes de gestion des déchets, puis transformés en granulés utilisables pour fabriquer de nouveaux produits à base de PLA. Le recyclage mécanique réduit la demande en PLA vierge et permet d'économiser de l'énergie et des ressources. En revanche, si les produits ne sont pas assez purs ou sont mélangés, le recyclage chimique est recommandé. Celui-ci offrant une solution circulaire unique pour produire des produits en PLA recyclé de la même qualité que le PLA vierge (fabriqué à partir de matières premières renouvelables).

En suivant cet arbre décisionnel, vous pouvez vous assurer que vos produits à base de PLA peuvent être éliminés de la manière la plus respectueuse de l'environnement. Le PLA est donc un bioplastique offrant une solution circulaire et durable pour une grande variété d'applications.

RECYCLABILITÉ DU PLA PAR RAPPORT AUX PLASTIQUES D'ORIGINE FOSSILE

Le recyclage englobe toute une série de technologies utilisées pour traiter les matières plastiques qui ont atteint leur fin de vie. Différentes méthodes de recyclage ont été présentées dans divers rapports et études. Elles peuvent être classées comme suit:

- Recyclage mécanique
- Recyclage chimique
- Recyclage thermochimique

Sur la base d'informations publiquement disponibles, une étude récente de Materia Nova [11] a établi une comparaison qualitative entre les trois principaux procédés.

		Rendement	Sélectivité	Qualité	Demande en énergie	Impact sur le changement climatique
Recyclage mécanique	PET	●	●	●	●	●
	PLA	●	●	●	●	●
	PE/PP	●	●	●	●	●
	PS	●	●	●	●	●
Recyclage Chimique	PET	●	●	●	●	●
	PLA	●	●	●	●	●
Recyclage Thermochimique	PE/PP	●	●	●	●	●
	PS	●	●	●	●	●

Tableau 5: Comparaison qualitative des processus de recyclage des matières plastiques. © Materia Nova [11]

Le tableau 5 compare les processus de recyclage pour cinq types de plastiques différents : PET, PLA, PS, PE et PP. Les processus de recyclage sont évalués sur la base de cinq critères : La performance, la sélectivité, la qualité de la matière obtenue, la demande énergétique et l'impact environnemental. La performance mesure l'efficacité du processus de recyclage en termes de quantité de matériaux utilisables recyclés par rapport à la quantité de déchets entrants. La sélectivité fait référence à la capacité de traiter des flux de déchets de faible qualité, c'est-à-dire des produits et matières pollués. La qualité fait référence à la conservation de bonnes propriétés mécaniques de la matière recyclée. La demande énergétique est la quantité d'énergie nécessaire pour exécuter le processus complet de recyclage. L'empreinte environnementale correspond aux émissions de gaz à effet de serre générées durant le processus de recyclage

Le tableau montre que le PLA peut être considéré comme l'un des meilleurs matériaux conçus pour le recyclage, que ce soit par une technologie de recyclage mécanique ou chimique. Il n'est donc pas logique d'envisager le recyclage thermochimique (y compris les principes de pyrogazéification et de pyrolyse), celui-ci convertissant un polymère en un mélange de gaz, de liquides et de solides ayant une valeur inférieure à celle du matériau d'origine. De plus, les technologies de recyclage thermochimique nécessitent des températures et des pressions plus élevées que les technologies mécaniques et chimiques, augmentant la demande en énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

CONCLUSION

Tout au long de son cycle de vie, de son approvisionnement à sa gestion de fin de vie, le PLA démontre qu'il a un rôle essentiel à jouer dans la quête d'un avenir plus durable et responsable. Ce bioplastique incarne l'essence de la durabilité, et est une alternative viable aux plastiques conventionnels.

En choisissant des ressources renouvelables certifiées comme durables, abondantes et qui génèrent de nombreux co-produits de valeur, Futerro réduit la concurrence avec les ressources alimentaires et fourragères, adoptant ainsi une approche écoresponsable. Celle-ci soutient les principes de durabilité en réduisant l'empreinte environnementale, en favorisant les économies locales et en garantissant un approvisionnement continu et durable en matières premières.

Le PLA, et plus largement les matériaux biosourcés, représentent un espoir pour réduire les émissions de carbone dans le secteur des produits chimiques et des matériaux. Entièrement biosourcé et recyclable, il permet de réduire l'empreinte carbone par rapport aux plastiques traditionnels pétro-sourcés, favorisant ainsi la défossilisation du secteur plastique. De plus, le PLA répond parfaitement aux critères de la taxonomie de l'UE pour les investissements verts, conformément aux objectifs du Green Deal pour l'Europe et à des objectifs environnementaux plus larges.

Le PLA est également un matériau très polyvalent utilisé dans de nombreux domaines et industries, démontrant ses performances fonctionnelles et techniques. Il convient notamment pour l'emballage alimentaire, les pièces moulées par injection, l'impression 3D, les dispositifs médicaux, les textiles et encore bien d'autres applications. Ses propriétés le rendent comparable, voire supérieur, aux plastiques traditionnels : il est à la fois résistant, rigide, transparent, biocompatible, et peut être composté ou recyclé. De plus, le PLA peut être mélangé avec d'autres matériaux (polymères, additifs et charges) pour optimiser ses performances. Le PLA est donc une véritable alternative aux plastiques traditionnels, alliant performance mécanique et écologie pour de nombreuses applications.

La circularité du PLA renforce son caractère durable. Ses options en fin de vie, en font un choix polyvalent et responsable. En réduisant les déchets et les émissions de carbone, ces différentes options renforcent la place du PLA comme une alternative durable et fiable aux plastiques d'origine fossile.

Face à l'urgence climatique, l'adoption de matériaux biosourcés comme le PLA est essentielle pour réduire l'impact environnemental des plastiques. Grâce à ses origines renouvelables et sa circularité, le PLA joue un rôle clé dans la construction d'un avenir plus vert et durable, incarnant l'innovation et la gestion responsable des ressources indispensables à la protection de notre planète.



“ Chez Futerro, nous nous engageons à produire un PLA durable et circulaire, depuis l'approvisionnement en matières premières certifiées durables et cultivées en France jusqu'aux produits finis recyclables. Notre projet de bioraffinerie, qui sera la première en Europe dédiée à la production de PLA, offrira une solution viable et responsable pour relever les défis environnementaux posés par les déchets plastiques et la dépendance aux ressources fossiles.

GLOSSAIRE

Amidon de blé

Amidon extrait des grains de blé. L'amidon de blé est une substance blanche et poudreuse qui trouve des applications dans des domaines non alimentaires tels que la papeterie, le textile et la production de bioéthanol.

Biomasse

Toute matière vivante ou récemment morte qui ne fait pas partie des fossiles ou des roches. Il peut s'agir de matière organique provenant de plantes et d'animaux, comme le bois, les cultures, les herbes, les feuilles, les algues et les excréments. Certaines biomasses peuvent être utilisées pour fabriquer des bioplastiques.

Biodégradation

Processus de décomposition de la matière ou des substances en éléments plus petits et plus simples par l'action de facteurs biotiques (micro-organismes, enzymes, etc.) et abiotiques (température, pH, eau, etc.), permettant leur assimilation totale par l'environnement sans impact environnemental négatif.

Carbone d'origine fossile

Carbone dérivé des combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel. Le carbone fossile est extrait de la géosphère, où il est stocké depuis des millions d'années. Le carbone fossile est utilisé pour produire de l'énergie et divers produits, tels que les plastiques, les fibres synthétiques et les engrais. Le carbone fossile augmente la quantité de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, contribuant ainsi au réchauffement de la planète et au changement climatique.

Carbone renouvelable

Toutes les sources de carbone évitant ou remplaçant l'utilisation du carbone fossile provenant de la géosphère. Le carbone renouvelable circule entre la biosphère, l'atmosphère et la technosphère, créant ainsi une économie circulaire du carbone.

ESG

Acronyme pour Environnemental, Social et Gouvernance. Il s'agit des trois principaux critères qui mesurent la durabilité et l'impact éthique d'un investissement dans une entreprise ou une société.

Facteurs abiotiques

Conditions physiques et chimiques non vivantes, telles que la température, l'humidité, le pH ou l'oxygène, pouvant affecter la décomposition de la matière organique ou de substances telles que l'APL en substances plus simples. Les facteurs abiotiques peuvent affecter le taux et l'étendue de la biodégradation en influençant l'activité et la survie des micro-organismes, ainsi que les mécanismes de dégradation, tels que l'oxydation, l'hydrolyse ou la photodégradation.

Facteurs biotiques

Organismes vivants, tels que les bactéries, les champignons et les levures, qui participent à la décomposition de la matière organique ou de substances telles que l'APL en substances plus simples. Les facteurs biotiques peuvent affecter le taux et l'étendue de la biodégradation en produisant des enzymes, en métabolisant les substrats et en s'adaptant aux conditions environnementales.

Gluten

Matière de protéine de la farine de blé qui a été séparée de l'amidon et d'autres composants de la farine, puis séchée avec soin pour préserver ses propriétés. Le gluten de blé vital est utilisé comme supplément protéique, comme améliorant de la pâte et comme substitut de viande.

Glucides

Hydrates de carbone formés par les plantes vertes à partir du dioxyde de carbone et de l'eau au cours de la photosynthèse. Les hydrates de carbone peuvent être classés en un grand groupe : les sucres.

Hydrolyse

Réaction chimique au cours de laquelle une molécule est décomposée en composants plus petits par réaction avec l'eau. La molécule change de structure, car de nouvelles liaisons sont formées. L'hydrolyse peut se produire dans des conditions naturelles et artificielles et peut affecter les propriétés et la biodégradabilité des plastiques.

Matières premières durables

Matières premières à faible impact environnemental utilisées pour fabriquer des plastiques ou d'autres produits.

Phase amorphe

État du PLA dans lequel les chaînes de polymères sont disposées de manière aléatoire et ne sont pas organisées en cristaux. Le PLA amorphe peut être moulé en utilisant des températures de moulage basses (température ambiante) et sans agent de nucléation. Le PLA amorphe est plus transparent et plus ductile que le PLA cristallin.

Phase cristalline

État du PLA dans lequel les chaînes de polymères sont alignées et emballées dans des structures ordonnées appelées cristaux. Le PLA cristallin peut être moulé en utilisant des températures de moulage élevées (90-110°C) et des agents nucléants. Le PLA cristallin est généralement opaque, plus rigide et plus stable à la chaleur que le PLA amorphe.

Plastiques biosourcés

Plastiques fabriqués à partir de ressources biologiques renouvelables. Ils ne sont pas nécessairement biodégradables ou compostables, mais ils permettent de réduire l'utilisation de combustibles fossiles et les émissions de gaz à effet de serre.

Plastiques d'origine fossile

Plastiques fabriqués à partir de produits pétrochimiques, dérivés de combustibles fossiles tels que le pétrole, le gaz ou le charbon. Ils sont généralement non biodégradables et peuvent s'accumuler dans l'environnement, entraînant une pollution et nuisant à la faune et à la flore.

Recyclage thermochimique

Technologie de recyclage des plastiques à base de pétrole dans laquelle les déchets sont convertis en carburants, produits chimiques ou monomères en utilisant une chaleur élevée et des catalyseurs. Le recyclage thermochimique peut être effectué par des méthodes telles que la pyrolyse, la gazéification ou l'hydrogénation.

Solvolyse

Type de réaction chimique dans laquelle une substance est décomposée en composants plus petits par le liquide dans lequel elle est dissoute. Le liquide agit comme une paire de ciseaux qui coupe les liens entre les atomes de la substance. La solvolyse peut se produire avec différents types de liquides, tels que l'eau (en référence à l'hydrolyse).

Son / Aliments à base de son

Couche extérieure des grains de céréales, comme le blé, qui est enlevée lors de la mouture. Le son est riche en fibres, en minéraux et en vitamines ; il peut donc être utilisé comme ingrédient alimentaire ou comme aliment pour animaux.

À PROPOS DE FUTERRO

FUTERRO – PIONNIER DES SOLUTIONS DURABLES EN MATIÈRE DE BIOPLASTIQUES

Chez Futerro, nous sommes à la pointe de l'innovation en bioplastiques durables, guidés par notre vision d'un avenir plus propre et respectueux de l'environnement. Notre engagement envers la durabilité et l'excellence technologique nous a permis de devenir un leader de confiance dans le domaine des bioplastiques.

Notre mission : Révolutionner la production et la consommation des plastiques en offrant des alternatives durables qui minimisent l'impact environnemental. Nous nous consacrons à développer et à commercialiser des solutions bioplastiques qui répondent aux besoins actuels tout en pavant la voie vers un avenir plus vert et durable.

Notre différence : Futerro se distingue par son engagement inébranlable envers trois principes fondamentaux :

- **Innovation** : Nous sommes convaincus que l'innovation est essentielle pour relever les défis environnementaux majeurs. Notre équipe de scientifiques et d'ingénieurs talentueux repousse sans cesse les limites de la technologie des bioplastiques, assurant ainsi que nos solutions restent à la pointe du développement durable.
- **2Durabilité** : Nos bioplastiques, fabriqués à partir de matières premières naturelles d'origine végétale, soutiennent une économie circulaire tout en contribuant à réduire l'empreinte carbone. Combinée à la technologie de recyclage LOOPLA®, cette approche diminue encore plus notre dépendance aux ressources fossiles et contribue à une réduction supplémentaire des émissions de carbone en valorisant les produits en fin de vie.
- **Partenariats** : Conscients que les défis de la durabilité mondiale ne peuvent être relevés seuls, nous recherchons activement des collaborations avec des organisations, des chercheurs et des industries partageant nos valeurs. Ensemble, nous pouvons créer des changements positifs à grande échelle.

Notre expertise : Futerro maîtrise l'ensemble de la chaîne de valeur des bioplastiques, depuis la recherche et le développement jusqu'à la production et l'application. Grâce à notre technologie de pointe et à nos installations ultramodernes, nous sommes en mesure de créer des solutions bioplastiques sur mesure, répondant aux besoins spécifiques de nos partenaires et clients dans divers secteurs d'activité.

Notre engagement en faveur du développement durable : Futerro s'engage à adopter des pratiques durables dans l'ensemble de ses activités. Nous cherchons activement à minimiser les déchets, la consommation d'énergie ou d'eau ainsi que les émissions dans nos processus de production, en nous efforçant d'assurer un avenir plus propre et plus durable pour tous.

Rejoignez-nous pour construire un avenir durable : Chez Futerro, nous sommes convaincus qu'un avenir durable est à portée de main. Nous vous invitons à nous rejoindre sur ce chemin de la transformation vers un monde plus vert où les plastiques font partie de la solution et non du problème.

Explorez notre gamme de solutions innovantes en matière de bioplastiques et devenez notre partenaire pour faire la différence. Ensemble, nous pouvons construire un avenir meilleur, plus vert et plus sain.

RÉFÉRENCES

[1]

Von Verg, C. Carus, M. Dammer, L. Stratmann, M. (2022) *Renewable Carbon as a Guiding Principle for Sustainable Carbon Cycles*. Renewable Carbon Initiative. DOI No.: <https://doi.org/10.52548/QUHG1295>

[2]

Carus, M. Dammer, L. Raschka, A. Skoczinski, P. Vom Berg, C. (2020) *Renewable Carbon - Key to a Sustainable and Future-Oriented Chemical and Plastic Industry - Definition, Strategy, Measures and Potential*. Renewable Carbon Initiative. https://renewable-carbon-initiative.com/wp-content/uploads/2020/09/20-09-21_Paper_12-on-Renewable-Carbon.pdf

[3]

Kähler, F. Porc, O. Carus, M. (2023) *RCI Carbon Flows Report: Compilation of supply and demand of fossil and renewable carbon on a global and European level*. Renewable Carbon Initiative. DOI No.: <https://doi.org/10.52548/KCTT1279>

[4]

Renewable feedstock - European Bioplastics. <https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/feedstock/>

[5]

IfBB institute for bioplastics and bio composites, *Biopolymers Facts and statistics (2018) production capacities, processing routes, feedstock, land and water use*. https://www.ifbb-hannover.de/files/IfBB/downloads/faltblaetter_broschueren/Biopolymers-Facts-Statistics-2018.pdf

[6]

Dammer, L. Caraus, M. Proc, O. (2023) *The use of food and feed crops for bio-based materials and the related effects on food security*. Renewable Carbon Initiative. DOI No.: <https://doi.org/10.52548/WQXU7327>

[7]

2BS Association. <https://www.2bsvs.org/>

[8]

Données céréale. Bilans Céréaliier annuels, au 15 novembre 2023. France AgriMer (2021/2022)

[9]

Chaire CoPack. 2023. Projet Minéral. *Test et validation des modes de valorisation organique des emballages alimentaires certifiés compostables*. <https://www.chairecopack.fr/projetmineral>

[10]

CNRS. 2022. BIOLOOP, laboratoire de nouveaux polymères biosourcés pour une économie circulaire. <https://www.inshs.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/bioloop-laboratoire-de-nouveaux-polymeres-biosources-pour-une-economie-circulaire>

[11]

Terrien, L. Talon, O. Cayuela, J. (2023) *Materia Nova. Technologies for the recycling of plastic waste. Mass, energy and climate change balances*. <https://www.materianova.be/en/documentation>

[12]

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.

https://www.academia.edu/5023812/Domestic_Mixed_Plastics_Packaging_Waste_Management_Options

[13]

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. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/05/CE_Delft_190180_PLA_sorting_for_recycling_Def.pdf

[14]

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2017). *Results Summary - PLA in the waste stream*. <https://www.umsicht.fraunhofer.de/content/dam/umsicht/en/documents/press-releases/2017/pla-in-the-waste-stream.pdf>

[15]

Pellenc ST. (2024, June 24). *Contribution of Pellenc ST to the future of bio-based plastics*. Pellenc ST. <https://www.pellencst.com/bio-based-plastics-sealive/>

[16]

Holland Bioplastics, Hydra Marine Science. (2024). *PLA does not create persistent microplastics in the environment*. https://hollandbioplastics.nl/wp-content/uploads/2024/06/2024.06.24_PeToPLA_Microplastics-Executive-Brief.pdf



WWW.FUTERRO.COM

FUTERRO S.A.

Siège social: Rue du renouveau 1, 7760 Escanaffles Belgium
Bureau commercial: Allée de la recherche 4, 1070 Brussels Belgium
+ 32 2 616 23 00 - info@futerro.com

Copyright 2025. Futerro S.A. Tous droits réservés. Aucune partie de cette publication ne peut être copiée, téléchargée, reproduite, stockée dans un système de récupération ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, enregistré ou autre, sans l'autorisation de l'éditeur. Les informations, données et opinions présentées dans ce document sont fournies par Futerro à titre d'information uniquement. Aucune représentation ou garantie n'est donnée quant à leur exactitude, leur véracité ou leur adéquation à un but, une application ou une condition particulière. Futerro décline toute responsabilité, dommages, pertes ou autres conséquences subis ou encourus pour toute décision prise ou action entreprise sur la base des informations contenues dans cette présentation. En outre, rien dans cette présentation ne doit être interprété comme une incitation ou une recommandation à utiliser les matériaux ou les procédés décrits en violation des brevets existants ou futurs de Futerro ou de toute autre partie. Futeon et Loopla sont des marques de Futerro, déposées en Belgique et dans d'autres pays et régions.