



HAL
open science

Impacts sanitaires et environnementaux de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables

Véronique Coma, Franck Cleymand, Isabelle Deportes, Frédéric Feder, Johnny Gasperi, Laure Geoffroy, Stéphane Leconte, Isabelle Manière Guerrero, Aurélie Mathieu-Huart

► To cite this version:

Véronique Coma, Franck Cleymand, Isabelle Deportes, Frédéric Feder, Johnny Gasperi, et al.. Impacts sanitaires et environnementaux de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables. [Rapport de recherche] Saisine n° 2021-SA-0202, Anses; IFSTTAR - Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux. 2022, 10 + 71 p. hal-03880831

HAL Id: hal-03880831

<https://hal.science/hal-03880831v1>

Submitted on 1 Dec 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



anses

Usages de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables

Avis de l'Anses
Rapport d'expertise collective

Octobre 2022



100% biodégradable

Connaître, évaluer, protéger

Le directeur général

Maisons-Alfort, le 27 octobre 2022

AVIS¹ **de l'Agence nationale de sécurité sanitaire** **de l'alimentation, de l'environnement et du travail**

relatif aux impacts sanitaires et environnementaux de certains usages de **matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables**

L'Anses met en œuvre une expertise scientifique indépendante et pluraliste.

L'Anses contribue principalement à assurer la sécurité sanitaire dans les domaines de l'environnement, du travail et de l'alimentation et à évaluer les risques sanitaires qu'ils peuvent comporter.

Elle contribue également à assurer d'une part la protection de la santé et du bien-être des animaux et de la santé des végétaux et d'autre part à l'évaluation des propriétés nutritionnelles des aliments.

Elle fournit aux autorités compétentes toutes les informations sur ces risques ainsi que l'expertise et l'appui scientifique technique nécessaires à l'élaboration des dispositions législatives et réglementaires et à la mise en œuvre des mesures de gestion du risque (article L.1313-1 du code de la santé publique).

Ses avis sont publiés sur son site internet.

L'Anses a été saisie le 16 novembre 2021 par la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) pour la réalisation de l'expertise relative aux impacts sanitaires et environnementaux de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables.

1. CONTEXTE ET OBJET DE LA SAISINE

Trois cent soixante-sept millions de tonnes de matières plastiques sont produites chaque année dans le monde. Elles sont principalement issues de la pétrochimie (carbones fossiles) et certaines peuvent être issues de la biomasse vivante (carbones biosourcés).

La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, dite loi AGECE, promulguée le 11 février 2020, comprend plusieurs dispositions visant à prévenir l'impact de l'utilisation des matières plastiques sur la santé et l'environnement dont l'article 84. Cet article prévoit que le Gouvernement remette au Parlement un rapport sur les impacts sanitaires, environnementaux et sociétaux des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables sur l'ensemble de leur cycle de vie. Ce rapport doit notamment aborder le risque de dispersion des microplastiques dans l'environnement lié au compostage des matériaux plastiques biosourcés, biodégradables et compostables. En effet, le Parlement a souhaité

¹ Cet avis annule et remplace celui du 21 septembre 2022. Les modifications apportées à l'avis sont détaillées dans l'annexe 1.

approfondir les connaissances sur les impacts de ces matières plastiques sur l'environnement, tels que les sacs plastiques biosourcés et compostables en compostage domestique.

Dans ce contexte, la DGPR a saisi l'Anses, le 16 novembre 2021, afin de rédiger un rapport sur les impacts sanitaires et environnementaux des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables. La DGPR a plus particulièrement demandé à l'Anses :

- d'étudier la composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (question n°1),
- d'évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage domestique en lien avec la norme NF T 51-800 : 2015 (question n°2),
- d'évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage industriel, avec un focus sur la production éventuelle de microplastiques et leur dispersion dans l'environnement (question n°3),
- d'identifier les effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4).

2. ORGANISATION DE L'EXPERTISE

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – Prescriptions générales de compétence pour une expertise (Mai 2003) ».

L'expertise relève du domaine de compétences du comité(s) d'experts spécialisé (CES) « Évaluation des risques chimiques liés aux articles et produits de consommation » (CES CONSO). L'Anses a confié l'expertise au groupe de travail « Bioplastiques - AGECE 84 ». Les travaux ont été présentés au CES CONSO tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques entre le 3 mars 2022 et le 8 juillet 2022. Ils ont été adoptés par le CES CONSO réuni le 8 juillet 2022.

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet : <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

Les experts soulignent le délai très court (3,5 mois d'expertise) pour réaliser cette expertise.

Avant de traiter les différentes questions posées, les experts ont défini un certain nombre de termes à partir de définitions réglementaires et recensé des usages et réglementations associées.

Pour répondre à l'ensemble des questions posées, une recherche bibliographique a été réalisée sur les cinq dernières années avec comme date de fin de la bibliographie avril 2022 sur deux moteurs de recherche (Pubmed et Scopus) pour identifier si des additifs, monomères et charges sont utilisés de manière récurrente dans les matériaux plastiques biodégradables et biosourcés (annexe 3 du rapport). Cette recherche a permis d'identifier 1812 articles. Sur la base d'une analyse du titre et du résumé, 80 articles ont été retenus dans le cadre de cette expertise.

Pour les questions relatives à la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage, les experts ont procédé à une analyse comparative des différentes normes liées aux compartiments environnementaux (compost, sol, eau douce, eau de mer), en particulier des normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015. Au regard des délais impartis, l'Anses s'est limitée à identifier les étapes au cours desquelles des microplastiques pourraient être produits. L'impact environnemental de ces microplastiques ou autres produits de dégradation n'a pas été évalué.

Afin de répondre à la question relative aux effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux, les experts se sont limités à identifier les substances présentes dans les matières plastiques biosourcées et biodégradables et leurs classifications harmonisées selon le règlement (CE) n° 1272/2008, dit règlement CLP.

3. ANALYSE ET CONCLUSIONS DU CES

3.1. Composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (question n°1)

Concernant la composition des matières plastiques considérées dans l'expertise, les experts rappellent qu'une matière plastique est un mélange (formulation) constitué d'un ou plusieurs polymères, d'additifs et de charges. Chaque formulation est spécifique de la matière plastique considérée. Comme pour les matières plastiques conventionnelles², les formulations des matières plastiques biosourcées et biodégradables dépendent des usages, des propriétés physico-chimiques et mécaniques attendues. Ces formulations relèvent du secret industriel. Par conséquent, la composition des matières plastiques n'est que partiellement connue. Toutefois, l'ensemble des constituants doit être enregistré dans le règlement REACH³ et listé dans le règlement (UE) n° 10/2011 si le matériau revendique une application « Matériaux destinés à entrer au contact des denrées alimentaires » (MCDA). De plus, pour tous les usages, les articles contenant des substances extrêmement préoccupantes (SVHC) à une concentration supérieure à 0,1 % (m/m) doivent être notifiés par les industriels dans la base de données SCIP⁴.

Il existe plusieurs types de polymères généralement utilisés dans la formulation des matières plastiques biosourcées et biodégradables. Il est aujourd'hui impossible de dresser une liste exhaustive de tous ces polymères. Les plus représentés sont les polyesters (PLA⁵, PHA⁶), l'amidon et la cellulose. De même, les experts n'ont pas pu identifier toutes les substances (additifs, monomères et charges) présentes dans ces matériaux et susceptibles de se retrouver *in fine* dans le compost. Il est à noter que les experts ne peuvent pas non plus avoir

² Pétrosourcées

³ Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil de l'union européenne du 18 décembre 2006

⁴ SCIP: Substances of Concern In articles as such or in complex objects – Products. Base de données dans laquelle tout fournisseur d'un article, mis sur le marché dans l'UE, doit déclarer la présence de substance extrêmement préoccupante (SVHC) figurant sur la [Liste Candidate](https://echa.europa.eu/fr/scip), à une concentration supérieure à 0,1 % (m/m). <https://echa.europa.eu/fr/scip>

⁵ PLA : poly(acide lactique)

⁶ PHA : polyhydroxyalcanoates. Famille de polymères regroupant environ 150 polyesters thermoplastiques biodégradables issus de la fermentation bactérienne de sucres ou de lipides.

accès aux substances non ajoutées intentionnellement (*Non-intentionally added substances* - NIAS).

Une matière plastique est dite « biosourcée » si elle est entièrement ou partiellement issue de la biomasse (polymères et additifs compris). La teneur minimale en matières biosourcées est uniquement réglementée dans le secteur des matières plastiques à usage unique : sacs plastiques à usage unique (50% depuis le 1^{er} janvier 2020) et objets à usage unique. Pour les autres applications, aucun seuil réglementaire n'est imposé en cas de revendication « biosourcée ». Toute matière plastique biosourcée n'est pas nécessairement biodégradable (et vice versa).

Les experts recommandent :

- **aux industriels :**
 - de s'assurer que les additifs et monomères entrant dans la composition des matières plastiques biodégradables ne présentent pas d'effets néfastes pour l'environnement et la santé humaine ;
 - si des substances SVHC sont présentes, de s'assurer du respect de l'obligation de les notifier dans la base de données SCIP lorsque la concentration est supérieure à 0,1% (m/m) ;
 - concernant le critère « biosourcé », de spécifier à quel(s) constituant(s) ce critère s'applique (polymère, charges, additifs), en indiquant également le pourcentage global du matériau issu de ressources renouvelables afin de permettre une bonne information des consommateurs et des utilisateurs en milieu professionnel.

- **aux pouvoirs publics :**
 - d'établir un cadre normatif reprenant les recommandations émises aux industriels ;
 - d'étendre à l'ensemble des matières plastiques les obligations réglementaires existantes actuellement pour les matières plastiques à usage unique (ex. teneur minimale en matière plastique biosourcée pour utiliser l'appellation).

3.2. Efficacité de la dégradation des matières plastiques biodégradables en compostage industriel et domestique (questions n°2 et 3)

Concernant l'efficacité de la dégradation des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables, il existe de nombreuses normes de spécification ou d'essais encadrant l'évaluation du caractère biodégradable des matériaux en fonction du processus de fin de vie envisagé (plus de 50 normes, cf. chapitre 4.9 du rapport). La multiplicité de ces normes peut être source de confusion, pour leurs utilisateurs ainsi que pour les consommateurs, et peut les rendre difficiles d'application. Par ailleurs, il n'existe pas de norme traitant de tous les compartiments environnementaux (air, sol, eau douce et eau de mer). Le devenir des matières plastiques biodégradables dans l'environnement n'est donc pas complètement caractérisé puisque leur biodégradation n'est pas systématiquement évaluée dans l'ensemble de ces compartiments. Enfin, la biodégradation des matières plastiques concerne l'ensemble des constituants, à savoir les polymères, les monomères résiduels, les additifs et les charges organiques, ce pour chaque formulation de matière plastique.

Les deux normes de compostage les plus utilisées, et citées dans le texte de la saisine, ont particulièrement été étudiées par les experts : la norme européenne NF EN 13432:2000 utilisée pour le compostage industriel des emballages et la norme française NF T51-800:2015 pour le compostage domestique des matières plastiques. La mise en œuvre de ces normes est d'application volontaire.

Les normes de compostage NF EN 13432:2000 et NF T 51-800:2015 présentent de grandes similarités en termes de seuils de performances à atteindre mais également des différences. En effet, les critères de test et d'acceptabilité requis dans la norme NF T51-800:2015 présentent des caractères plus contraignants que ceux de la norme NF EN 13432:2000 (température d'essais, recherche de métaux, de perturbateurs endocriniens (PE), de substances CMR⁷ et SVHC).

Ces normes sont fondées sur des expérimentations dans des conditions d'essai de laboratoire (caractérisation, biodégradation, désintégration, écotoxicité). Toutefois, il est très probable qu'un particulier ne pourra pas appliquer l'ensemble des conditions indiquées dans le protocole pour un compostage domestique. Ainsi, les experts doutent que la conformité à la norme garantisse la biodégradation satisfaisante d'un produit en compostage domestique. *A contrario*, il est possible d'envisager la réalisation de contrôles par les autorités au regard de la norme NF EN 13432:2000 (compostage en conditions industrielles) si celle-ci était rendue obligatoire pour toutes les matières plastiques revendiquées biodégradables. Une traçabilité relative à la fin de vie de ces matériaux pourrait alors être garantie par la mise en place d'une collecte et d'une filière de traitement.

Pour toute matière plastique biodégradable, dès lors que le compostage est envisagé, les résidus de ces matériaux seront voués à être ré-introduits dans l'environnement *via* les amendements organiques.

Les deux normes de compostage imposent un seuil de biodégradation d'au moins 90 % après 6 mois de test. Toutefois, il existe encore des incertitudes sur la fraction résiduelle (potentiellement jusqu'à 10% de la matière initiale), au sujet de laquelle il n'existe aucune préconisation d'évaluation de l'impact environnemental ou sur la santé humaine. Les experts tiennent à préciser que les particuliers eux-mêmes peuvent être amenés à utiliser leur compost domestique comme amendement organique. De ce fait, une biodégradation incomplète pourrait entraîner la dissémination, voire l'accumulation de substances indésirables pour l'environnement et, par conséquent, l'exposition du consommateur. De même, pour les matières organiques résiduelles pouvant être traitées par méthanisation, aucune norme de spécification n'existe concernant les résidus de ce traitement.

Les sacs en matières plastiques sont considérés conformes à la loi AGEC dès lors qu'ils répondent aux exigences de la norme française homologuée relative aux spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique (NFT 51-800 2015) ou toute norme présentant des garanties équivalentes.

Comme tout matériau plastique, lors de son usage ou de son vieillissement et *a fortiori* lors d'un compostage en conditions industrielles ou domestiques, un matériau plastique biosourcé et biodégradable est susceptible de générer des microplastiques. Les conditions d'essai lors des compostages en conditions industrielles ou domestiques ne garantissent pas l'absence de fuites de substances, de macroplastiques et/ou de microplastiques dans l'environnement. Là encore, les experts notent l'absence d'évaluation spécifique de ces matériaux dans

⁷ Cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction

l'ensemble des compartiments de l'environnement (eau douce, eau de mer, sol et air). De plus, la thématique « microplastiques⁸ » n'est pas considérée dans sa globalité par les normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 puisqu'aucun contrôle n'est effectué sur les particules de plastique de tailles inférieures à 2 mm pouvant être générées après 3 mois de compostage. Concernant la biodégradation des substances (monomères, additifs et charges organiques), les industriels doivent se référer aux exigences listées dans le règlement REACH. Concernant les charges inorganiques, celles-ci ne sont pas soumises à une évaluation de leur persistance dans le cadre du règlement REACH.

Les experts recommandent :

- **aux industriels :**
 - de n'utiliser que des additifs et charges organiques biodégradables selon le test OCDE 301 : Biodégradabilité facile (OCDE, 2013) ;
 - dans le cas particulier des matériaux compostables uniquement en conditions industrielles, comme le poly(acide lactique) (PLA), d'indiquer la présence de ces matériaux dans la formulation du produit fini (par exemple par un numéro avec un ruban de Möbius) ;
 - de mettre à jour la norme NF EN 13432:2000 et d'y inclure les spécifications les plus contraignantes de la norme NF T51-800:2015, à savoir la recherche de certains métaux lourds, de perturbateurs endocriniens et de substances SVHC ;
 - de mener des tests de biodégradation spécifiques à chaque compartiment environnemental sur l'ensemble des matériaux revendiqués biodégradables. Pour cela, le développement de normes de spécification pour l'eau douce, l'eau de mer et le sol est nécessaire. Dans le même esprit, une norme de spécification pour la démonstration d'une biodégradation en méthanisation est souhaitable ;
 - de réaliser des tests d'écotoxicité chronique dans chacun des compartiments environnementaux (air, sol, eau douce et eau de mer) ;
 - d'optimiser le procédé de fabrication des andains⁹ (par exemple recouvrement par du branchage pour limiter les envols de sacs plastiques) dans le but de limiter la dispersion dans l'environnement de macro- ou microplastiques issus de matières plastiques biodégradables lors d'un compostage industriel ;
 - que les metteurs sur marché considèrent l'opportunité de solutions alternatives de gestion de ces matières plastiques arrivées en fin de vie comme le recyclage, la méthanisation ou l'enfouissement (ex. circuits de collecte spécifiques, etc.).

- **aux pouvoirs publics :**
 - de modifier la réglementation afin que toute allusion voire incitation à l'insertion de matières plastiques dans un compost domestique soit interdite ;
 - de manière plus générale, de sensibiliser la population à ne pas introduire de matières plastiques, même libellées biodégradables, dans les composts domestiques ;

⁸ En accord avec le consensus qui se dégage dans la littérature, les experts définissent la gamme de taille des particules de microplastiques de 1 µm à 5 mm.

⁹ Désigne la structure allongée et souvent triangulaire ou trapézoïdale construite pour composter les déchets organiques en conditions industrielles

- de s'assurer qu'après usage, la collecte, le tri et/ou le traitement des matières plastiques biodégradables et biosourcées soient effectifs afin de mettre en cohérence leur mise sur le marché et leur fin de vie revendiquée ;
- qu'une évaluation de chaque matière plastique biodégradable et biosourcée qui revendique une fin de vie générant une matière fertilisante et support de culture (MFSC) soit conduite au titre d'une autorisation de mise sur le marché. Cette recommandation est étendue aux films agricoles biodégradables qui retournent au sol sans autre traitement ;
- de limiter le référencement à un nombre restreint de normes dans la réglementation (par exemple norme de spécification NF EN 13432:2000 mise à jour), dans le but de simplifier la lisibilité des textes réglementaires et d'imposer le respect d'obligations spécifiques (par exemple critères de biodégradation) ;
- concernant la norme NF EN 13432:2000 (compostage industriel pour les emballages) :
 - de rendre cette norme d'application obligatoire pour toute matière plastique revendiquée biodégradable avant sa mise sur le marché par un industriel ;
 - d'étendre le périmètre de cette norme à l'ensemble des produits/articles en matières plastiques biodégradables et biosourcées et ne pas la restreindre au secteur de l'emballage ;
- que seuls les matériaux répondant aux exigences des futures normes modifiées prenant en compte l'impact du procédé de compostage dans l'ensemble des compartiments de l'environnement (voir recommandations ci-dessus) puissent être autorisés en compostage industriel. Les matériaux répondant aux exigences devraient être marqués d'un ruban de Möbius et d'un numéro spécifique afin de s'assurer que ces matériaux soient orientés vers les centres industriels de tri sélectif, puis vers les installations de compostage.

3.3. Effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4)

Concernant les effets potentiels sur la santé humaine en cas d'ingestion de matières plastiques ou de microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux, les experts soulignent le manque d'informations relatives aux risques encourus suite à l'ingestion des matières plastiques biosourcées et biodégradables, comme pour toutes les matières plastiques. Cependant, certaines informations relatives aux dangers de quelques constituants des matières plastiques (monomères, additifs) figurent dans les dossiers d'enregistrement déposés par les industriels en fonction des usages revendiqués et imposés par les réglementations en vigueur (MCDA et REACH/CLP).

Quel que soit le mode de compostage, les matières plastiques biodégradables vont induire la présence de microplastiques dans ces composts suite à leur désintégration. La diffusion de micro- ou nanoplastiques dans l'environnement est aujourd'hui avérée comme conduisant à une exposition de l'Homme (Anses, 2020). Toutefois, il n'existe pas de données dans le cas particulier des matières plastiques biodégradables et biosourcées. Cette libération participerait aujourd'hui à une dissémination dans l'environnement de micro- ou nanoplastiques et à terme, à une pollution environnementale globale.

Ainsi, les experts recommandent :

- **aux industriels** de ne pas intégrer dans la formulation des matières plastiques biosourcées et biodégradables des substances CMR de catégories 1A, 1B et 2, STOT RE¹⁰ de catégories 1 et 2, PBT¹¹, SVHC, vPvB¹², PMT¹³ et PE ;
- **aux pouvoirs publics** de réviser les normes existantes en intégrant la problématique des microplastiques sur l'ensemble de la gamme de taille retenue par les experts¹⁴.

4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE

L'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail endosse les conclusions et recommandations des experts du CES « Évaluation des risques chimiques liés aux articles et produits de consommation » et du GT « Bioplastiques AGECE 84 ».

L'Anses souligne l'importance de sensibiliser la population à ne pas introduire de matières plastiques, même libellées biodégradables, dans les composts domestiques, par exemple, par le biais d'une campagne d'information. En effet, leur dégradation complète n'étant pas assurée, ces matières et leurs produits de dégradation sont susceptibles de contribuer à une pollution de l'environnement et des aliments cultivés par les particuliers, et de présenter ainsi un risque à la fois pour les santés humaine, animale et végétale. Ainsi, l'Anses recommande de privilégier la collecte des matières plastiques biodégradables dans une filière industrielle, au même titre que les autres emballages, en vue d'un usage maîtrisé des composts. Pour ce faire, l'Anses recommande de modifier la réglementation afin que toute incitation ou revendication relative à l'insertion de matières plastiques dans un compost domestique soit interdite.

L'Anses appelle à revoir le système normatif à des fins de simplification, d'harmonisation, de renforcement des exigences en retenant les critères les plus contraignants et d'inclusion de tests de biodégradation spécifiques à chaque compartiment environnemental pour l'ensemble des matériaux revendiqués biodégradables et pas uniquement les emballages. Elle souligne que l'application des recommandations de cette expertise rendrait caduque la norme relative au compostage domestique.

Enfin, concernant la norme NF EN 13432:2000 (compostage industriel pour les emballages), l'Anses soutient la proposition des experts de rendre cette norme d'application obligatoire pour toute matière plastique revendiquée biodégradable avant sa mise sur le marché par un industriel et d'étendre le périmètre de cette norme à l'ensemble des produits/articles en matières plastiques biodégradables et biosourcées sans la restreindre au secteur de l'emballage.

En ce qui concerne la gamme de taille des particules de microplastiques considérée dans cette expertise pour l'étude de la biodégradabilité, l'Anses tient à préciser qu'elle ne préjuge en rien

¹⁰ Toxicité spécifique pour certains organes cibles à la suite d'une exposition répétée

¹¹ Persistante, bioaccumulable et toxique

¹² Très persistante et très bioaccumulable

¹³ Persistante, mobile et toxique

¹⁴ de 1 µm à 5 mm.

de celle qui pourrait être retenue réglementairement au niveau européen dans le cadre d'évaluations des risques sanitaires et environnementaux.

Dr Roger Genet

MOTS-CLÉS

En français : matière plastique, biodégradable, biosourcé, compostable, bioplastiques

En anglais : plastic material, biodegradable, bio-based, compostable, bioplastics

CITATION SUGGÉRÉE

Anses. (2022). Avis de l'Anses relatif aux impacts sanitaires et environnementaux de certains usages de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables (Saisine n° 2021-SA-0202). Maisons-Alfort : Anses, 10 p.

ANNEXE 1

Suivi des modifications apportées à la version du 21 septembre 2022.

Numéro de page	Chapitre concerné	Modification effectuée
Page 8	Chapitre 4. Conclusions et recommandations de l'Agence	Ajout du paragraphe suivant : « En ce qui concerne la gamme de taille des particules de microplastiques considérée dans cette expertise pour l'étude de la biodégradabilité, l'Anses tient à préciser qu'elle ne préjuge en rien de celle qui pourrait être retenue réglementairement au niveau européen dans le cadre d'évaluations des risques sanitaires et environnementaux. »

**Impacts sanitaires et environnementaux de matières
plastiques biosourcées, biodégradables et
compostables**

Saisine n° 2021-SA-0202

**RAPPORT
d'expertise collective**

**CES « Évaluation des risques chimiques liés aux articles et produits de
consommation »**

GT « Bioplastiques - AGEC 84 »

Juillet 2022

Citation suggérée

Anses. (2022). Avis de l'Anses relatif aux impacts sanitaires et environnementaux de certains usages de matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables (Saisine n° 2021-SA0202). Maisons-Alfort : Anses, 71 p.

Mots clés

En français : matière plastique, biodégradable, biosourcé, compostable, bioplastiques

En anglais : plastic material, biodegradable, bio-based, compostable, bioplastics

Présentation des intervenants

PRÉAMBULE : Les experts membres de comités d'experts spécialisés, de groupes de travail ou désignés rapporteurs sont tous nommés à titre personnel, *intuitu personae*, et ne représentent pas leur organisme d'appartenance.

GROUPE DE TRAVAIL « BIOPLASTIQUES - AGEC 84 »

Présidente

Mme Véronique COMA – Associate professor Université de Bordeaux - Compétences : matériaux actifs biosourcés, Matériaux biodégradables, dépolymérisation enzymatique

Membres

M. Franck CLEYMAND – Maître de conférences Université de Lorraine - Compétences : biomatériaux

Mme Isabelle DEPORTES – Ingénieure impacts sanitaires et environnementaux de la gestion des déchets - ADEME – Compétences : traitement des déchets, recyclage, évaluation des risques, analyse du cycle de vie

M. Frédéric FEDER – directeur de l'unité de recherche « recyclage et risque » au Cirad – Compétences : transformation des déchets organiques et recyclage en agriculture

M. Johnny GASPERI – Directeur de recherche, Université Gustave Eiffel - Compétences : analyse des microplastiques, devenir environnemental des microplastiques

Mme Laure GEOFFROY – Ecotoxicologue à l'INERIS - Compétences : biodégradation, évaluation des risques environnementaux, devenir dans l'environnement, évaluation des dangers

COMITÉ D'EXPERTS SPÉCIALISÉ

Les travaux, objets du présent rapport ont été suivis et adoptés par le CES suivant :

- Évaluation des risques chimiques liés aux articles et produits de consommation (CES CONSO) (2021-2023)

Président

M. Damien BOURGEOIS – Directeur de recherche au CNRS à l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule – Compétences : chimie moléculaire, chimie des métaux, physico-chimie

Vice-Président

M. Christophe YRIEIX – Ingénieur et responsable technique au FCBA – Compétences : qualité de l'air, émissions des matériaux, normalisation

Membres

M. Alain AYMARD – Ingénieur et enquêteur retraité de la DGCCRF – Compétences : chimie, réglementation

M. Luc BELZUNCES — Directeur de Recherche et Directeur du Laboratoire de Toxicologie Environnementale à l'INRAE – Compétences : toxicologie, chimie analytique, évaluation des risques

M. Nicolas BERTRAND - Responsable des projets pluridisciplinaires - AMETRA06 - Compétences : Chimie, Modélisation, Risques professionnels, Réglementation.

Mme Isabelle BILLAULT – Maître de conférence - Université Paris Saclay - Compétences : chimie, physico-chimie, chimie analytique

Mme Isabelle DEPORTES – Ingénieure impacts sanitaires et environnementaux de la gestion des déchets - ADEME – Compétences : traitement des déchets, recyclage, évaluation des risques, analyse du cycle de vie

M. Jérôme HUSSON – Enseignant chercheur - Université de Franche-Comté – Compétences : chimie moléculaire, physico-chimie, chimie des matériaux, chimie analytique

M. Guillaume KARR – Ingénieur Études et Recherche- INERIS – Compétences : risques sanitaires, expositions, santé environnementale

Mme Alexandra LEITERER – Pharmacienne - Ingénieure en prévention des risques professionnels - CEA – Compétences : prévention des risques professionnels

M. Jean-Pierre LEPOITTEVIN – Professeur des universités et Directeur du laboratoire de dermatochimie à l'Université de Strasbourg – Compétences : chimie, toxicité et allergies cutanées

Mme Mélanie NICOLAS – Chercheur CSTB – Compétences : physico-chimie, chimie analytique, émissions, COV, air intérieur

Mme Adèle PAUL – Médecin Hospices Civils de Lyon / Université Claude Bernard Lyon 1 – Compétences : toxicologie, expositions professionnelles, troubles de la reproduction, santé-environnement, effets sanitaires

Mme Catherine PECQUET – Retraitée - Praticien hospitalier en dermatologie et allergologie à l'hôpital Tenon - Compétences : dermato-allergologie – allergies, dermatologie cutanée

Mme Sophie ROBERT – Docteur es sciences - Experte assistance Risques chimiques et toxicologiques - Coordinatrice des fiches toxicologiques à l'INRS – Compétences : toxicologie, réglementation, risques professionnels, études de filières, santé travail, prévention des risques

M. Patrick ROUSSEAU – Professeur - Université de Poitiers - Compétences : recyclage, évaluation environnementale des procédés, risques environnementaux

M. Jean-Marc SAPORI – Médecin - Pôle 7 Gériatrie – Hôpital Nord-Ouest de Villefranche sur Saône - Compétences : médecine, toxicologie clinique, urgences, gériatrie

PARTICIPATION ANSES

Coordination scientifique

M. Stéphane LECONTE – Coordinateur scientifique - Docteur es sciences Chimie – Unité d'Évaluation des Valeurs de référence et des Risques des Substances Chimiques (UEVRRiSC) - Anses

Contribution scientifique

Mme Isabelle MANIERE-GUERRERO – Toxicologue / Coordinateur scientifique - Docteur es sciences biologiques – Unité d'Évaluation des Valeurs de référence et des Risques des Substances Chimiques (UEVRRISC) - Anses

Mme Aurélie MATHIEU-HUART – Pharmacien-toxicologue - Adjointe à la cheffe de l'UEVRRiSC - Anses

Secrétariat administratif

Mme Patricia RAHYR – Anses

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	3
Sigles et abréviations.....	8
Liste des tableaux	9
Liste des figures.....	10
1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise.....	11
1.1 Contexte	11
1.2 Objet de la saisine	11
1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation.....	12
1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts	13
2 Définitions utilisées.....	14
2.1 Matière plastique	14
2.2 Additif	14
2.3 Charge.....	14
2.4 Monomère	14
2.5 Polymère	15
2.6 Biomasse.....	15
2.7 Matériaux et matières plastiques biosourcés	15
2.7.1 Matériaux biosourcés.....	15
2.7.2 Matière plastique biosourcée	16
2.8 Dégradation	16
2.9 Biodégradation et compostage	16
2.9.1 Biodégradation	16
2.9.2 Biodégradabilité.....	16
2.9.3 Compostage	17
2.10 Bioplastique	17
2.11 Microplastiques.....	17
3 Usages des matières plastiques biosourcées et/ou biodégradables	19
4 Réglementations associées aux domaines d'utilisation des matières plastiques biosourcées et biodégradables.....	23
4.1 Réglementations des matières plastiques biosourcées à usage unique.....	23
4.2 Réglementation relative aux matériaux destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.....	23
4.3 Réglementation relative aux produits cosmétiques	25
4.4 Réglementation relative aux substances chimiques.....	25
4.5 Réglementations ou normes associées relatives aux films de paillage	25
4.6 Réglementation relative aux matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) ..	26

4.7	Matières plastiques biodégradables dans la loi AGEC	26
4.8	Normes relatives à la détermination de la teneur en produits ou carbone biosourcés 28	
4.9	Normes relatives à la fin de vie des matériaux plastiques biodégradables et compostables	29
5	Composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables	30
5.1	Focus sur les monomères et les additifs	31
5.2	Spécificité des polymères	32
5.2.1	Données générales.....	32
5.2.2	Origine des polymères biosourcés et biodégradables	32
5.3	Réflexions sur la composition des matières plastiques biosourcées	34
6	Dégradation des matières plastiques en conditions de compostage industriel et domestique	36
6.1	Description des normes	37
6.2	Analyse des normes et critères d'acceptation	40
7	Effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux	46
8	Conclusions	50
8.1	Composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (question n°1) 51	
8.2	Efficacité de la dégradation de ces matières plastiques en compostage industriel et domestique (questions n°2 et 3).....	52
8.3	Effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4).....	54
9	Bibliographie.....	56
9.1	Publications	56
9.2	Normes.....	62
9.3	Législation et réglementation	64
Annexe 1 : Lettre de saisine		67
Annexe 2 : Recherche bibliographique.....		68

Sigles et abréviations

BPF	Bonnes pratiques de fabrication
CES	Comité d'experts spécialisé
CLP	Classification, étiquetage, emballage (Classification, Labelling, Packaging en anglais)
CMR	Cancérogène, mutagène et toxique pour la reproduction
DGPR	Direction générale de la prévention des risques
DGS	Direction générale de la santé.
ECHA	Agence européenne des produits chimiques
EFSA	Autorité européenne de sécurité des aliments
GT	Groupe de travail
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
LTECV	Loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte
MCDA	Matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires
NIAS	Substances non ajoutées intentionnellement (Non-intentionally Added substances en anglais)
MFSC	Matières fertilisantes et supports de culture
PA	Polyamide
PBAT	Copolyester d'acide adipique, de 1,4-butanediol et d'acide téréphtalique encore appelé polybutylène adipate téréphtalate
PBS	Poly(succinate de butyle) ou encore appelé poly(butylène succinate)
PBT	Persistant, bioaccumulable, toxique (Persistent, Bioaccumulable, Toxic en anglais)
PE	Polyéthylène
PEF	Poly(furanoate d'éthylène)
PET	Polytéréphtalate d'éthylène
PHA	Polyhydroxyalcanoates
PLA	Poly(acide lactique)
PP	Polypropylène
PS	Polystyrène
PTT	polytriméthylène téréphtalate
REACH	Enregistrement, évaluation et autorisation des substances chimiques (ou Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals en anglais)
SCIP	Base de données d'informations sur les substances préoccupantes contenues dans les articles (S ubstances of C oncern I n articles) en tant que tels ou dans des objets complexes (P roduits)
SVHC	Substance extrêmement préoccupante (ou Substance of Very High Concern en anglais)
UE	Union européenne
US EPA	United States Environmental Protection Agency

Liste des tableaux

Tableau 1 : Inventaire des normes relatives à la biodégradation des matières plastiques et réparties en fonction de leur nature et par milieu d'évaluation (ADEME, 2020)	29
Tableau 2 : Comparaisons des normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 (ADEME 2020).....	38
Tableau 3 : Valeurs limites en inertes et impuretés à respecter pour les amendements organiques	44
Tableau 4 : Données complémentaires sur les polymères, monomères et additifs utilisés dans la formulation de matières plastiques biosourcées et biodégradables et obtenues à la suite de la recherche bibliographique	48

Liste des figures

Figure 1 : Positionnement des matières plastiques étudiées dans cette expertise en fonction de leur origine et du caractère de biodégradabilité	12
Figure 2 : Répartition de la demande en matières plastiques en Europe en 2020 (Plastics Europe, 2022)	19
Figure 3 : Estimation de la production mondiale de bioplastiques par type de matériaux en 2021 (Nova institute, 2021)	20
Figure 4 : Liste des secteurs d'activité utilisant des bioplastiques en 2021 (European Bioplastics, 2021).....	21
Figure 5 : Réglementations relatives aux biodéchets emballés, ou non, par des matières plastiques biodégradables, biosourcées et compostables	27
Figure 6 : Voies d'obtention de substances (monomères ou additifs) ou de polymères à partir de la biomasse	30
Figure 7 : Exemples de polymères biodégradables (adapté de Leconte, 2010 et Avérous, 2013).....	32
Figure 8 : Structure des polyhydroxyalcanoates (PHA).....	33
Figure 9 : Synthèse d'un PLA.....	33
Figure 10 : Classification des bioplastiques (adapté de Leconte, 2010).....	34
Figure 11 : Chronologie d'un essai de compostabilité selon la norme NF EN 13432:2000 ...	43
Figure 12 : Aperçu du cycle de vie des matières plastiques et de leurs interactions avec le corps humain (Fini 2021).....	46
Figure 13 : Classification des matières plastiques en fonction de l'origine de leurs matières premières et de leur aptitude à la biodégradabilité	50

1 Contexte, objet et modalités de réalisation de l'expertise

1.1 Contexte

Trois cent soixante-sept millions de tonnes de matières plastiques sont produites chaque année dans le monde¹. Elles sont principalement issues de la pétrochimie (carbones fossiles) et certaines peuvent être issues de la biomasse vivante (carbones biosourcés).

La loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire, dite loi AGEC, promulguée le 11 février 2020, comprend plusieurs dispositions visant à prévenir l'impact de l'utilisation des matières plastiques sur la santé et l'environnement dont l'article 84. Cet article prévoit que le Gouvernement remette au Parlement un rapport sur les impacts sanitaires, environnementaux et sociétaux des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables sur l'ensemble de leur cycle de vie. Ce rapport doit notamment aborder le risque de dispersion des microplastiques dans l'environnement lié au compostage des matériaux plastiques biosourcés, biodégradables et compostables.

À ce jour, la contamination environnementale par les microplastiques issus de la pétrochimie est avérée dans l'atmosphère et l'air intérieur (Beaurepaire *et al.*, 2021), les eaux urbaines et continentales (Uzun *et al.* 2022 ; Yusuf *et al.* 2022 ; Enfrin *et al.* 2019) ainsi que dans les sols (Yang *et al.*, 2022). Le Parlement a souhaité approfondir les impacts des matières plastiques sur l'environnement, notamment *via* les sacs plastiques biosourcés et compostables en conditions domestiques.

1.2 Objet de la saisine

Dans ce contexte, la Direction générale de la prévention des risques (DGPR) a saisi l'Anses, le 16 novembre 2021, afin de rédiger un rapport sur les impacts sanitaires et environnementaux des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables.

La DGPR a plus particulièrement demandé à l'Anses :

- d'étudier la composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (question n°1),
- d'évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage domestique en lien avec la norme NF T 51-800 : 2015 (question n°2),
- d'évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage industriel, avec un focus sur la production éventuelle de microplastiques et leur dispersion dans l'environnement (question n°3),
- d'identifier les effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4).

¹ Données 2021 d'European Bioplastics, cf. <https://www.european-bioplastics.org/>, consulté le 24/05/2022

La Figure 1 permet de cibler les matières plastiques étudiées dans cette expertise en fonction de leur origine et de leur propriété de biodégradabilité.

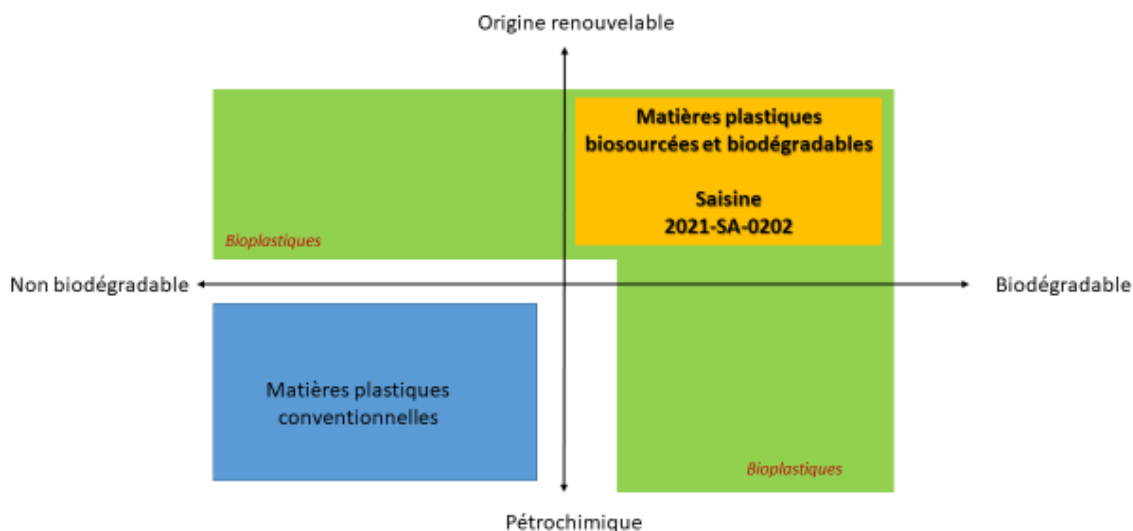


Figure 1 : Positionnement des matières plastiques étudiées dans cette expertise en fonction de leur origine et du caractère de biodégradabilité

À noter que les biomatériaux² sont des matériaux biocompatibles³ destinés à des applications médicales. Ces matériaux sont couverts par des dispositions spécifiques. Leur évaluation n'entre pas dans le domaine de compétences de l'Anses. Ils ne seront donc pas étudiés dans ce rapport.

1.3 Modalités de traitement : moyens mis en œuvre et organisation

L'Anses a confié l'instruction de cette saisine au groupe de travail (GT) « Bioplastiques - AGEC 84 », rattaché au comité d'experts spécialisé « Évaluation des risques chimiques liés aux articles et produits de consommation » (CES CONSO).

Les travaux d'expertise du GT ont été soumis régulièrement au CES CONSO tant sur les aspects méthodologiques que scientifiques. Le rapport produit par le GT tient compte des observations et éléments complémentaires transmis par les membres du CES. Le rapport a été validé à la séance du CES CONSO du 08 juillet 2022.

Ces travaux sont ainsi issus d'un collectif d'experts aux compétences complémentaires.

L'expertise a été réalisée dans le respect de la norme NF X 50-110 « Qualité en expertise – prescriptions générales de compétence pour une expertise (mai 2003) ».

Le GT souligne le délai très court (3,5 mois d'expertise) pour réaliser cette expertise.

² Selon l'Inserm, les biomatériaux sont des matériaux, synthétiques ou vivants, utilisables à des fins médicales pour remplacer une partie ou une fonction d'un organe ou d'un tissu. cf. <https://www.inserm.fr/dossier/biomateriaux/> - consulté le 01/06/2022.

³ Biocompatible = compatible avec les tissus humains ou animaux et adapté pour une thérapie médicale. Relatif à la biocompatibilité = compatibilité avec un organisme vivant (Larousse)

Avant de traiter les différentes questions posées, le GT a d'abord défini un certain nombre de termes à partir de définitions réglementaires et a recensé des usages et réglementations associées.

Pour répondre à l'ensemble des questions posées, une recherche bibliographique a été réalisée sur les cinq dernières années avec comme date de fin de la bibliographie avril 2022 sur deux moteurs de recherche (Pubmed et Scopus) pour identifier si des additifs, monomères, et charges sont utilisés de manière récurrente dans les matériaux plastiques biodégradables et biosourcés (Annexe 2). Cette recherche a permis d'identifier 1812 articles. Sur la base d'une analyse du titre et du résumé, 80 articles ont été retenus dans le cadre de cette expertise.

Pour les questions relatives à la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage, les experts ont procédé à une analyse comparative des différentes normes liées aux compartiments environnementaux (compost, sol, eau douce, eau de mer), en particulier des normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015. Au regard des délais impartis, l'Anses s'est limitée à identifier les étapes au cours desquelles des microplastiques pourraient être produits. L'impact environnemental des microplastiques ou autres produits de dégradation n'a pas été évalué.

Afin de répondre à la question relative aux effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux, le GT s'est limité à identifier les substances chimiques présentes dans les matières plastiques biosourcées et biodégradables et leurs classifications harmonisées selon le règlement (CE) n° 1272/2008, dit règlement CLP.

1.4 Prévention des risques de conflits d'intérêts

L'Anses analyse les liens d'intérêts déclarés par les experts avant leur nomination et tout au long des travaux, afin d'éviter les risques de conflits d'intérêts au regard des points traités dans le cadre de l'expertise.

Les déclarations d'intérêts des experts sont publiées sur le site internet <https://dpi.sante.gouv.fr/>.

2 Définitions utilisées

2.1 Matière plastique

Le règlement (UE) n°10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires (MCDA) (point 2, article 3) définit une matière plastique comme un « *polymère auquel des additifs ou d'autres substances ont pu être ajoutés, capable de servir de principal composant structurel de matériaux et d'objets finaux* ».

À partir de cette définition, le GT a défini une matière plastique comme une formulation ou un mélange d'un ou de plusieurs types de polymère(s), avec des additifs et des charges. La nature chimique des différents constituants dépend des propriétés finales attendues pour le produit fini, des usages envisagés et des procédés de transformation employés pour l'obtention du produit fini ou semi-fini.

Le terme « plastique » n'est pas utilisé dans ce rapport car c'est un terme de vulgarisation, employé dans le langage courant, qui ne fait pas apparaître le fait qu'il existe un nombre important de polymères différents, et que chaque formulation (= matière plastique) est spécifique de la matière plastique considérée. De ce fait, deux matières plastiques se distinguant, par exemple, par un additif (même polymère) peuvent réglementairement avoir des usages différents : par exemple, une autorisation ou non pour une utilisation en tant que MCDA.

2.2 Additif

Un additif est « *une substance ajoutée volontairement à une matière plastique afin d'obtenir un effet physique ou chimique lors de la transformation de la matière plastique ou de modifier les caractéristiques physiques ou chimiques du matériau ou de l'objet final, et qui est destinée à être présente dans le matériau ou l'objet final* » (règlement (UE) n°10/2011).

2.3 Charge

Une charge correspond à toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien, simplement, de réduire le prix de revient du matériau transformé (Technique de l'ingénieur⁴).

2.4 Monomère

Le règlement (CE) n°1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des

⁴<https://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-plastiques-et-composites-tiaam/archive-1/charges-a3220/>, consulté le 16/05/2022

produits chimiques, dit règlement REACH, définit un monomère comme « *une substance qui est capable de former des liens covalents avec une séquence d'autres molécules semblables ou non dans les conditions de la réaction de formation du polymère pertinente pour le processus particulier* » (article 3, point 6). En d'autres termes, c'est une substance qui, via la réaction de polymérisation, est convertie en motif de répétition de la séquence d'un polymère.

2.5 Polymère

Le règlement REACH définit un polymère comme « *une substance constituée de molécules se caractérisant par la séquence d'un ou de plusieurs types d'unités monomères. Ces molécules doivent être réparties sur un éventail de poids moléculaires, les écarts de poids moléculaire étant dus essentiellement aux différences de nombres d'unités monomères. Un polymère comprend :*

- a) *une simple majorité pondérale de molécules contenant au moins trois unités monomères liées par covalence à, au moins, une autre unité monomère ou à une autre substance réactive,*
- b) *une quantité inférieure à une simple majorité pondérale de molécules présentant le même poids moléculaire.*

Au sens de la présente définition, on entend par "unité monomère", la forme réagie d'une substance monomère dans un polymère » (article 3 point 5).

2.6 Biomasse

Selon l'arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé », la biomasse est définie comme « *une matière d'origine biologique, à l'exception des matières de formation géologique ou fossile* ».

2.7 Matériaux et matières plastiques biosourcés

Dans la norme NF EN 16760 :2015 « Produits biosourcés - Analyse du cycle de vie », « *le terme « biosourcé » signifie « issu de la biomasse ». Les produits biosourcés (bouteilles, matériaux isolants, bois et produits en bois, papier, solvants, produits chimiques intermédiaires, matériaux composites, etc.) sont des produits entièrement ou partiellement issus de la biomasse. Il est essentiel de caractériser la quantité de biomasse contenue dans le produit par le biais de sa teneur biosourcée ou de sa teneur en carbone biosourcé, par exemple* ».

2.7.1 Matériaux biosourcés

Selon l'article D543-295 du Code de l'environnement, une " matière biosourcée " correspond à « *toute matière d'origine biologique à l'exclusion des matières intégrées dans des formations géologiques ou fossilisées* ». Les normes NF EN 16760 et NF EN 16575 (AFNOR, 2015 et 2014) proposent des définitions similaires. En matière d'habitation, l'arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé » précise qu'une matière biosourcée est « *une matière issue de la biomasse végétale ou animale*

pouvant être utilisée comme matière première dans des produits de construction et de décoration, de mobilier fixe et comme matériau de construction dans un bâtiment ».

2.7.2 Matière plastique biosourcée

Une matière plastique est dite « biosourcée » (*bio-based* en anglais) dès lors que sa production est issue, au moins partiellement, de ressources renouvelables⁵.

2.8 Dégradation

Selon la définition figurant dans la norme NF EN ISO 472 : 2013, la dégradation d'un matériau correspond à un « *processus irréversible entraînant une modification significative de la structure d'un matériau, caractérisé par une variation de propriétés (intégrité, poids ou structure moléculaire, résistance mécanique, par exemple) et/ou par une fragmentation ; la dégradation est influencée par des conditions environnementales et se déroule sur une période de temps comprenant une ou plusieurs étapes* ».

2.9 Biodégradation et compostage

2.9.1 Biodégradation

En s'appuyant sur la définition de la ligne directrice OCDE n°301 : Biodégradabilité facile (OCDE, 2013) et celle du Journal officiel n°0297 du 22 décembre 2016 relatif au vocabulaire des matériaux et de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés), le GT définit la biodégradation comme un processus de transformation moléculaire de substances chimiques organiques ou d'un matériau par l'action de micro-organismes en conditions aérobies ou anaérobies. Deux types de dégradation peuvent se distinguer :

- la dégradation primaire qui correspond à la transformation de la molécule parente en un ou plusieurs produits de dégradation ou métabolites selon des processus chimiques ou biochimiques, tels qu'une oxydation ou une dépolymérisation par exemple. Les métabolites peuvent parfois se révéler très persistants dans l'environnement et plus toxiques que la matière plastique ;
- la biodégradation ultime (ou minéralisation) qui conduit à une intégration du carbone de la substance dans les microorganismes et le rejet d'éléments « simples » tels que l'eau, CO₂, CH₄, etc. selon les voies métaboliques (voie aérobie : CO₂ ; anaérobie : CH₄).

2.9.2 Biodégradabilité

En s'appuyant sur la définition figurant dans le journal officiel relatif au vocabulaire des matériaux et de l'environnement : « Qualité d'une substance ou d'un matériau biodégradable » et la ligne directrice OCDE n°301 (OCDE, 2013), le GT définit la biodégradabilité comme la

⁵ Produits biosourcés autres que les denrées alimentaires destinées à la consommation humaine ou animale ou la biomasse ayant une application énergétique.

capacité d'un matériau ou d'une molécule à être dégradé biologiquement, c'est-à-dire par l'action d'organismes biologiques. La détermination du taux de biodégradabilité nécessite des mesures en laboratoire ou en milieu naturel.

2.9.3 Compostage

Le GT considère que le compostage consiste en un procédé correspondant à l'action de biodégradation des matières organiques réalisée essentiellement dans des conditions aérobies⁶, qui peuvent conduire à une augmentation de la température du massif de déchets en compostage.

Le compostage permet l'établissement de conditions (température, oxygénation, humidité) favorable à une biodégradation des matériaux. Il peut se faire en conditions industrielle ou domestique. Dans les unités industrielles, les conditions de compostage sont sélectionnées pour optimiser la biodégradation.

Il est à préciser que certains matériaux ne sont compostables que dans des unités industrielles.

2.10 Bioplastique

L'article du Journal officiel relatif au vocabulaire des matériaux et de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés) définit le terme « bioplastique » comme étant un « *plastique biosourcé et biodégradable* ».

Plus communément, le terme bioplastique désigne des matières plastiques qui peuvent être :

- biosourcées (issues de ressources renouvelables) et biodégradables,
- pétrosourcées (issues de ressources fossiles, pétrole) et biodégradables,
- biosourcées et durables (non biodégradables).

Actuellement, l'usage du terme « bioplastique » est remis en cause par certains organismes publics (ADEME, 2016) ou par des professionnels. Son utilisation n'est pas privilégiée car il induit une confusion en particulier pour le grand public en lien avec le préfixe « Bio ». De ce fait, lors de la rédaction de ce rapport, la terminologie « matière plastique biosourcée et biodégradable » a été majoritairement employée. Toutefois, ce terme a été utilisé dans l'expertise notamment lors de la recherche bibliographique.

2.11 Microplastiques

Il existe un certain nombre de définitions caractérisant les microplastiques dont celles d'organismes tels que l'Anses⁷, l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA)⁸, l'US Environmental Protection Agency (US EPA) en 2021 ou l'Institut national de l'environnement industriel et des risques (INERIS) en 2018 et de publications scientifiques telles que

⁶<https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-laction/valorisation-organique/compostage>, consulté le 02/06/2022.

⁷ <https://www.anses.fr/fr/content/les-microplastiques-un-risque-pour-l%E2%80%99environnement-et-la-sant%C3%A9>, consulté le 17/05/2022

⁸ <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/microplastics>, consulté le 02/06/2022

Chouchene et Ksibi (US EPA ; 2021 ; INERIS, 2018 ; Chouchene et Ksibi, 2021). Sur la base de ces définitions, le GT définit un microplastique comme un matériau solide de taille inférieure à 5 mm. Les microplastiques sont, soit issus de la dégradation de larges débris plastiques, aussi appelés macroplastiques (> 5 mm), soit intentionnellement ajoutés dans des produits finis⁹. En accord avec le consensus qui se dégage dans la littérature (Frias et Nash, 2019), le GT définit la gamme de taille des particules de microplastiques de 1 µm à 5 mm.

⁹ <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/microplastics>, consulté le 02/06/2022

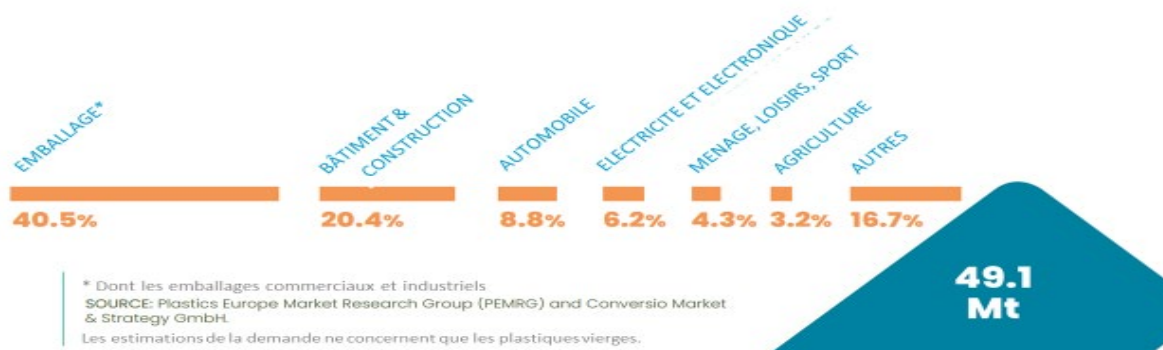
3 Usages des matières plastiques biosourcées et/ou biodégradables

Dans le temps imparti, seules des données de marché concernant l'ensemble des bioplastiques et pas seulement les matières plastiques biosourcées et biodégradables ont été identifiées.

Les données sur les marchés des matériaux biosourcés et/ou biodégradables présentées dans ce rapport sont issues de rapports de synthèse émanant notamment d'associations ou d'instituts de recherche privés tels que Plastics Europe, European Bioplastics ou Nova Institute. Elles sont également issues de discussions de certains experts du GT avec les acteurs industriels. Cet état des lieux sur les usages actuels des matériaux biosourcés et revendiqués comme étant biodégradables est ainsi le fruit d'un travail préliminaire qui demanderait à être approfondi *via* des auditions et une recherche bibliographique approfondie complémentaire. Il est destiné à identifier les principaux usages revendiqués par les industriels et n'est donc pas exhaustif.

- *Secteurs d'utilisation des matières plastiques*

Pour avoir une vue d'ensemble des usages des matériaux plastiques, la répartition de la demande par secteur en Europe (Figure 2), comme dans le monde, montre que les secteurs de l'emballage et du bâtiment & construction représentent de loin les deux plus grands marchés d'utilisation finale, le troisième secteur étant l'industrie automobile.



Autres = matières plastiques pour les meubles, applications médicales, machines et construction mécanique, pièces techniques, etc.

Figure 2 : Répartition de la demande en matières plastiques en Europe en 2020 (Plastics Europe, 2022)

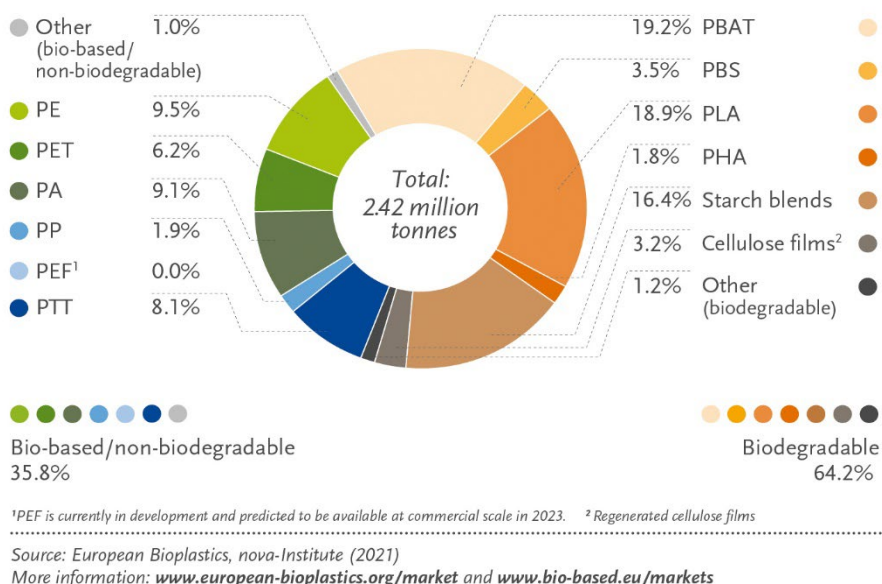
- *Production et usage des matières plastiques biosourcées et/ou biodégradables*

La production des matières plastiques biodégradables et/ou biosourcées était estimée à environ 2,4 millions de tonnes en 2021 (Figure 3), ce qui représente un peu moins de 1 % de l'ensemble des matières plastiques produites annuellement (Nova-Institute, 2021). Selon les dernières données du marché compilées par European Bioplastics¹⁰ en coopération avec Nova Institute, les capacités de production mondiale de bioplastiques devraient atteindre 7,6 millions de tonnes en 2026. Notons que si on ne se préoccupe que de biodégradabilité, la

¹⁰ <https://www.european-bioplastics.org>, consulté le 24/03/2022

production actuelle de matières plastiques biodégradables est de 1,5 millions de tonnes environ. Elle devrait atteindre près de 5,3 millions en 2026 en raison d'un fort développement des polymères tels que le PBAT et le PBS, mais également d'une croissance régulière de la production du PLA, attendue du fait de nouveaux investissements dans des sites de production en Asie, aux États-Unis et en Europe.

Global production capacities of bioplastics 2021 (by material type)



PE : polyéthylène ; PET : polytéréphthalate d'éthylène ; PA : polyamide ; PP : polypropylène ; PEF : poly(furanoate d'éthylène) ; PTT : polytriméthylène téréphthalate ; PBAT : polybutylène adipate téréphthalate ; PBS : poly(succinate de butyle) ; PLA : poly(acide lactique) ; PHA : polyhydroxyalcanoates ; Starch blends : mélanges d'amidon ; Cellulose film : film de cellulose

Figure 3 : Estimation de la production mondiale de bioplastiques par type de matériaux en 2021 (Nova institute, 2021¹¹)

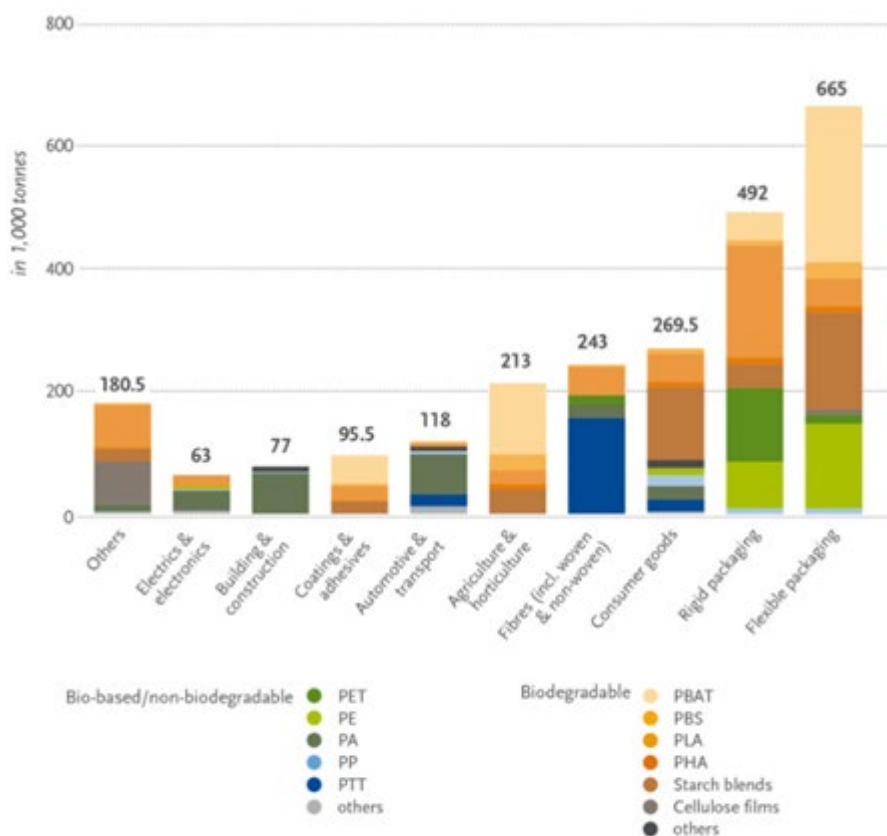
En termes de composition et de polymères utilisés, environ 41 % des bioplastiques sont des matières plastiques biosourcées et biodégradables (e.g. PLA, PHA, cellulose, amidon), (Figure 3). Il est d'ores et déjà possible d'identifier les trois familles de polymères les plus représentées parmi les matériaux biosourcés et biodégradables sur le marché, à savoir les polyesters (PLA : 18,9%, PHA : 1,8%), l'amidon (« *Starch blends* » : 16,4%) et la cellulose (3,2%).

L'un des domaines d'application privilégiés de ces matériaux biosourcés et/ou biodégradables a d'abord concerné, outre les objets à usage unique et certains produits d'hygiène, le secteur de l'emballage et en particulier les sacs plastiques (sacs déchets verts et organiques, sacs poubelle, emballage alimentaire rayon frais, etc.) (Colnik *et al.*, 2020 ; Narancic *et al.*, 2020). Avec les sacs de déchets verts, ces matériaux ont trouvé là un domaine d'application de niche leur permettant potentiellement d'être valorisés directement avec les déchets organiques sans séparation.

¹¹ https://www.european-bioplastics.org/market/#iLightbox/gallery_image_11/0, consulté le 12/05/2022

Aujourd'hui, les emballages rigides et flexibles représentent à eux seuls 60-65 % des débouchés (e.g. sacs, MCDA, matériaux cosmétiques) (Nova-Institute, 2021¹²) (Figure 4). La recherche bibliographique menée dans le cadre de ce rapport (Annexe 2) a montré un fort potentiel d'utilisation de ces matériaux dans le domaine des emballages alimentaires (Babaei-Ghazvini *et al.*, 2021 ; Baghi *et al.*, 2022 ; Bayram *et al.*, 2021 ; Chausali *et al.*, 2022 ; Grosvenor *et al.*, 2022 ; Mahmud *et al.*, 2021).

Les autres débouchés pour ces matériaux sont l'agriculture (e.g. films de paillage, enveloppes d'encapsulation, ficelles et clips pour la foresterie) et l'horticulture (e.g. godets), le textile, et enfin des biens de consommation (e.g. coton-tige, vaisselle, capsules de café, tee de golf) sans oublier les formulations cosmétiques à base de microbilles exfoliantes. En effet, pour ce qui concerne le domaine de l'agriculture et de l'horticulture pour lesquels la récupération de certains produits finis usagés est difficile voire impossible (ADIVALOR, 2021), le caractère biodégradable des matières plastiques est recherché, par exemple, pour les films de paillage (retrait coûteux), les paillis dits « longue durée » (dont la durée attendue de l'efficacité herbicide est comprise entre 24 et 36 mois) (Maraveas, 2020a et 2020b) et les godets horticoles.



Source: European Bioplastics, nova-Institute (2021). More information: www.european-bioplastics.org/market and www.bio-based.eu/markets

Figure 4 : Liste des secteurs d'activité utilisant des bioplastiques en 2021 (European Bioplastics, 2021)

¹² <https://www.european-bioplastics.org/market/>, consulté le 12/05/2022

Les retours d'expérience des experts du GT montrent que :

- les matériaux à base de cellulose, utilisés notamment dans les MCDA, sont particulièrement présents sur le marché sous forme de contenant fibreux (e.g. cellulose moulée et papier-cartons) ;
- les matériaux à base d'amidon se retrouvent sur le marché principalement sous forme d'emballage flexible et rigide, de matériaux destinés à l'agriculture mais également dans le secteur des adhésifs ;
- les matériaux à base de polyesters biosourcés et biodégradables tels que le PLA, sont présents dans les emballages rigides et flexibles, le textile sanitaire et les matériaux destinés à l'agriculture et l'horticulture ;
- la forte représentativité du PLA et de l'amidon tient, pour le PLA, à son potentiel à substituer certains matériaux pétrosourcés et, pour l'amidon, à son développement précurseur dans les années 1990. En effet, les matériaux à base d'amidon ont été parmi les premiers à être étudiés du fait de la facilité de récupération du biopolymère dans certains végétaux et de sa biodégradabilité avérée. La société Novamont, en Italie, a notamment orienté très tôt ses recherches sur des matériaux à base d'amidon (« *starch blends* »). Ceci a permis de couvrir le champ d'applications des matériaux à courte durée de vie avec des débouchés notamment en emballage et plus particulièrement en sacherie, objets largement distribués aujourd'hui (e.g. sac poubelle, sac de caisse) ;
- Lorsque l'on cible les applications en emballage, les trois polymères majoritaires cités plus haut, à savoir le PLA, l'amidon et la cellulose, sont aujourd'hui majoritairement destinés aux applications à usage unique. Ils sont donc particulièrement bien implantés, toutes proportions gardées face aux biosourcés non biodégradables et aux pétrosourcés, sur les marchés suivants :
 - emballage souple (e.g. sacs) ;
 - emballage rigide (e.g. barquettes, boîtes-cartonnage, bouteilles, gobelets, pots de yaourt, capsules, chips, etc.) pour des applications MCDA, cosmétiques ou de transport (calage).

Avec une législation qui évolue très rapidement, le marché des matériaux biosourcés et biodégradables est en permanente évolution, cet état des lieux est donc très ponctuel.

4 Réglementations associées aux domaines d'utilisation des matières plastiques biosourcées et biodégradables

Plusieurs réglementations s'appliquent aux matières plastiques biosourcées et biodégradables en fonction de leurs usages : matériaux destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires (MCDA), produits cosmétiques ou films de paillage. La réglementation des substances chimiques s'applique également.

La fin de vie des matières plastiques biosourcées et biodégradables est également prise en compte dans la réglementation.

Enfin, il existe des normes d'application volontaire relatives à la fin de vie des matériaux plastiques biodégradables et compostables.

4.1 Réglementations des matières plastiques biosourcées à usage unique

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) réglemente la teneur minimale en matières biosourcées uniquement dans le secteur des matières plastiques à usage unique (sacs ou objets à usage unique). Pour les autres applications, aucun seuil réglementaire n'est imposé en cas de revendication « biosourcée ».

Selon l'article R. 543-72-2 du Code de l'environnement, « *la teneur biosourcée minimale des sacs en matières plastiques à usage unique mentionnés au 2° du II de l'article L. 541-10-5 est de : 30 % à partir du 1^{er} janvier 2017 ; 40 % à partir du 1^{er} janvier 2018 ; 50 % à partir du 1^{er} janvier 2020 ; 60 % à partir du 1^{er} janvier 2025* ». Les mêmes exigences concernant les gobelets, verres et assiettes jetables de cuisine en matière plastique figurent dans l'article D543-296 du Code de l'environnement.

4.2 Réglementation relative aux matériaux destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires

Le règlement cadre (CE) n° 1935/2004 du Parlement européen et du Conseil du 27 octobre 2004 concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires énonce les principes généraux de bonnes pratiques de fabrication (BPF), de sécurité et d'inertie applicables à l'ensemble des MCDA.

Toutefois, de nombreux matériaux utilisés ou entrant en contact des aliments ne font pas encore l'objet d'une réglementation harmonisée au niveau de l'Union européenne (UE). À titre d'exemple, on peut citer les papiers et cartons, le verre, le bois, le liège, les métaux et alliages, les matières textiles, les adhésifs, les résines d'échange ionique, les encres d'impression, les silicones, les vernis, les laques, les revêtements et les cires.

Parmi les MCDA disposant d'une réglementation spécifique harmonisée au niveau européen, on retrouve les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des aliments. Ces matériaux en matière plastique sont régis par le règlement (UE) n°10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 et ses amendements. Ce règlement donne la liste des substances (monomères et additifs) (annexe 1 du règlement (UE) n°10/2011) pouvant entrer dans la composition des matières plastiques destinées à entrer en contact avec les aliments. Il liste aussi un certain nombre de critères : approvisionnements spécifiques pour plusieurs catégories de matériaux plastiques (bouchons, matériaux plastiques ou composites multicouches), déclaration de conformité, descriptif des conditions de tests de migration (globale et spécifique) et choix des simulants selon les conditions d'exposition à modéliser, évaluation des NIAS (substances non ajoutées intentionnellement) et des risques qu'elles engendrent.

L'ajout d'une nouvelle substance (additif, monomère ou charge) à la liste des substances autorisées du règlement (UE) n°10/2011 passe par une requête auprès de l'Autorité européenne de sécurité des aliments (*European Food Safety Authority*, EFSA) qui validera ou non cette demande d'autorisation d'emploi.

Parallèlement à ces deux règlements, le Conseil de l'Europe émet également des résolutions afin de combler les lacunes réglementaires. Si elles ne sont pas contraignantes, elles n'en sont pas moins largement acceptées par les États membres en tant que documents d'orientation en l'absence de législation européenne ou nationale. Ces résolutions couvrent les colorants pour les matières plastiques, les agents de polymérisation, les revêtements, les silicones, le papier et carton, le liège, les métaux et alliages, les résines d'échange ionique, le caoutchouc et les encres d'emballages.

Au regard de ces informations, les matières plastiques biodégradables et/ou biosourcées doivent répondre aux exigences du règlement cadre (CE) n°1935/2004, du règlement (UE) n°10/2011 et des réglementations nationales associées en vue d'une utilisation en tant que MCDA. Les monomères et les additifs entrant dans la composition de ces matériaux doivent donc figurer dans la liste des substances autorisées dans le règlement (UE) n°10/2011 et ses amendements.

Comme pour tous types de polymères, les polymères naturels (encore appelés biopolymères tels que l'amidon ou la cellulose) bénéficient d'une dérogation dès lors qu'ils répondent aux obligations des articles 5 et 6 du règlement (UE) n°10/2011¹³. Sans être présents sur la liste des substances autorisées, à l'exception des macromolécules obtenues par fermentation microbienne, les polymères naturels peuvent donc être utilisés dans la fabrication des matériaux et d'objets en matière plastique :

- en tant qu'additifs, s'ils présentent une masse moléculaire minimale de 1000 Da ;
- si les monomères ou autres substances de départ nécessaires à leur synthèse figurent dans l'annexe 1 du règlement (UE) n°10/2011.

Il est noté que certains polysaccharides ne peuvent être utilisés que comme additifs ou auxiliaires de production de polymères, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas autorisés en tant que monomère ou autre substance de départ ou de macromolécule obtenue par fermentation microbienne.

¹³ Article 5 : liste de l'Union européenne des substances autorisées ; Article 6 : dérogations applicables aux substances ne figurant pas sur la liste de l'Union européenne.

4.3 Réglementation relative aux produits cosmétiques

Aucune exigence spécifique aux matières plastiques biosourcées et/ou compostables ne figure dans la réglementation liée aux produits cosmétiques. Ces matériaux sont soumis aux mêmes contraintes que les matériaux d'origine pétrolière et non biodégradables. Les industriels sont tenus, notamment, de fournir les caractéristiques pertinentes du matériau d'emballage, comme sa pureté et sa stabilité (règlement (CE) n°1223/2009 du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques, annexe I - rapport sur la sécurité du produit cosmétique).

4.4 Réglementation relative aux substances chimiques

Au regard des usages cités précédemment, dès lors que les matières plastiques biodégradables et/ou biosourcées ne sont pas concernées par les réglementations relatives aux MCDA et aux produits cosmétiques, elles doivent répondre aux exigences du règlement (CE) n°1907/2006 du Parlement européen et du Conseil de l'Union européenne du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques ainsi que les restrictions applicables à ces substances (*Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals*), appelé règlement REACH.

Ce règlement européen a pour but de référencer les effets sanitaires et environnementaux des substances chimiques, produites ou importées dans l'Union européenne, en vue d'une gestion efficace des risques liés à l'utilisation de ces substances.

Dans le cadre de cette expertise, il est important de noter que, pour l'instant, seules les substances, mises sur le marché, produites ou importées dans l'UE font l'objet d'un enregistrement au titre de la réglementation REACH (article 5 du règlement du 18 décembre 2006). Les polymères sont actuellement exemptés d'enregistrement, mais leur futur enregistrement fait actuellement l'objet de discussions au niveau européen. Ainsi, à l'exception des polymères, l'ensemble des substances chimiques entrant dans la composition des matières plastiques doit faire l'objet d'un enregistrement dans REACH.

Concernant les charges inorganiques, celles-ci ne sont pas soumises à une évaluation de leur persistance dans le cadre de REACH.

4.5 Réglementations ou normes associées relatives aux films de paillage

Conformément au règlement (CE) n°834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques, les films de paillage biodégradables peuvent être utilisés en agriculture biologique.

Au niveau international, il existe différentes normes concernant la biodégradation des matières plastiques dans le sol (ASTM D5988-18 ; ISO 23517:2021 ; ISO 17556:2019 ; NF EN 17033:2018).

Les films de paillage biodégradables destinés à une utilisation en agriculture et en horticulture doivent se conformer aux exigences listées dans la norme européenne NF EN 17033:2018. Cette norme ne concerne que les films de paillage biodégradables, et non les films de paillage

en matière plastique conventionnelle qui sont destinés à être retirés après utilisation. Cette norme spécifie les méthodes d'essai à appliquer pour évaluer la biodégradabilité des films dans le sol et l'absence d'écotoxicité de ces matériaux sur l'environnement. Les données écotoxicologiques concernent l'absence de toxicité sur la croissance des plantes, l'étude de la toxicité aiguë et chronique vis-à-vis des vers de terre et l'inhibition de la nitrification par les microorganismes du sol. Des exigences relatives aux propriétés dimensionnelles, mécaniques et optiques des films sont également définies dans cette norme afin de s'assurer que les matériaux puissent garantir de bonnes performances lors de leur utilisation sur le terrain. Des indications sont également données quant à l'identification et au marquage des films, de façon à ce que les paillages biodégradables puissent être identifiés par le personnel opérant. La norme, enfin, fournit des indications utiles concernant les bonnes pratiques d'utilisation des films biodégradables (annexe H de la norme). À l'échelle internationale, la norme ISO 23517:2021 présente des exigences similaires à la norme NF EN 17033:2018.

4.6 Réglementation relative aux matières fertilisantes et supports de culture (MFSC)

La mise sur le marché des matières fertilisantes et des supports de culture (MFSC) est réglementée en France par les articles L.255-1 à L.255-11 du Code Rural et de la pêche maritime. Il y est précisé que les MFSC doivent obtenir une autorisation de mise sur le marché après évaluation de leur efficacité et leur innocuité. Comme toute matière organique biodégradable, un retour au sol des matières plastiques biodégradables et biosourcées pourrait s'avérer intéressant afin d'éviter l'incinération ou la mise en décharge des déchets organiques biodégradables. Néanmoins, à ce jour, les matières plastiques biodégradables et biosourcées ne peuvent prétendre disparaître complètement des composts ou des digestats. Il apparaît que la réglementation ne prend pas en compte les potentiels résidus des matières plastiques (notamment des additifs) pour les matières fertilisantes destinées à un retour au sol. Ce point est traité dans le chapitre 5.

4.7 Matières plastiques biodégradables dans la loi AGECE

Outre l'article 84, initiateur de la présente saisine, l'article 13 de la loi AGECE précise que « *les produits et emballages en matière plastique dont la compostabilité ne peut être obtenue qu'en unité industrielle ne peuvent porter la mention « compostable ». Les produits et emballages en matières plastiques compostables en compostage domestique ou industriel portent la mention « Ne pas jeter dans la nature ». Il est interdit de faire figurer sur un produit ou un emballage les mentions « biodégradable », « respectueux de l'environnement » ou toute autre mention équivalente ».*

Ces éléments impliquent que les consommateurs ne verront pas la notion de biodégradabilité des produits qu'ils consomment. De ce fait, cela limitera le risque de rejet dans la nature de ces produits par les consommateurs, sous prétexte de leur faible impact environnemental du fait de leur biodégradabilité. Pareillement, des produits normés compostables en unité industrielle ne peuvent afficher la compostabilité, ce qui limitera la destination en compostage domestique de produits inaptes à ce traitement.

Par ailleurs, la loi dite AGECE précise le Code de l'environnement qui stipule *in fine* que « *les personnes qui produisent ou détiennent des quantités importantes de déchets composés*

majoritairement de biodéchets sont tenues de mettre en place un tri à la source de ces biodéchets et :

- soit une valorisation sur place ;
- soit une collecte séparée des biodéchets pour en permettre la valorisation et, notamment, favoriser un usage au sol de qualité élevée.

À compter du 1^{er} janvier 2023, cette obligation s'applique aux personnes qui produisent ou détiennent plus de cinq tonnes de biodéchets par an.

Cette obligation s'applique également à tous les producteurs de biodéchets conditionnés dans des emballages, y compris si ces emballages sont non compostables ».

Enfin, « les biodéchets qui ont fait l'objet d'un tri à la source ne sont pas mélangés avec d'autres déchets ».

La Figure 5 résume les réglementations concernées pour les biodéchets, voire leurs emballages en matières plastiques biodégradables, biosourcées et compostables.

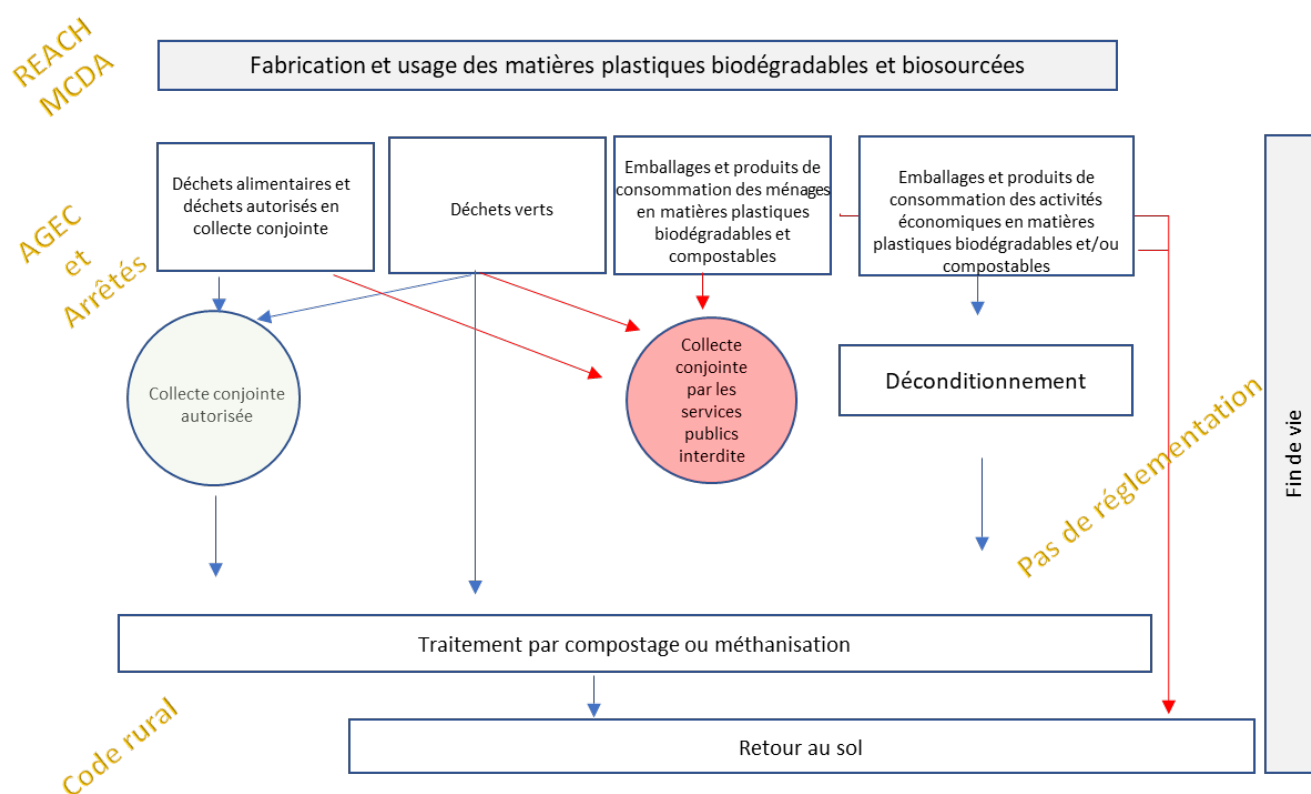


Figure 5 : Réglementations relatives aux biodéchets emballés, ou non, par des matières plastiques biodégradables, biosourcées et compostables

Les biodéchets sont constitués des déchets alimentaires et des autres déchets naturels biodégradables. Ainsi, la loi AGECE reprise dans le Code de l'environnement impose un tri à la source des biodéchets - c'est-à-dire des déchets de cuisine et de table ou des déchets verts ou des déchets de parcs et jardins -, impliquant un traitement biologique de valorisation (compostage ou méthanisation) mais interdit le mélange des biodéchets avec d'autres déchets. Par extension, le mélange des biodéchets avec des emballages ou des produits en matières plastiques biodégradables est interdit. Cependant, l'arrêté du 15 mars 2022, listant les emballages et déchets compostables, méthanisables et biodégradables qui peuvent être collectés conjointement avec des biodéchets ayant fait l'objet d'un tri à la source, autorise :

- « les sacs de collecte de biodéchets composés uniquement de papier ou de carton qui respectent les exigences en termes de caractérisation et de composition définies à l'annexe I ;
- les sacs de collecte de biodéchets composés de plastique, et éventuellement d'une partie en papier ou carton, qui respectent l'ensemble des exigences définies aux annexes I et II ;
- les filtres à café en papier et leur contenu, ainsi que les sachets de thé et tisane en papier et leur contenu ;
- les essuie-tout, serviettes et mouchoirs en papier ;
- les capsules et dosettes à café composées d'au moins 95 % de papier et répondant à l'ensemble des exigences définies aux annexes I et II ;
- les déchets organiques ménagers suivants : fleurs fanées, cheveux, ongles, plumes et poils d'animaux de compagnie.

Pour les sacs, ceux respectant la norme NF T 51-800 soit « compostable domestiquement » sont présumés répondre aux exigences des annexes I et II ».

Les annexes de ce texte reprennent partiellement le texte de la norme NF T51-800 :2015 (Plastiques - Spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique), ce qui rend cette dernière obligatoire. Enfin, cet arrêté s'applique à tous les détenteurs de biodéchets.

À ce jour, la collecte généralisée de produits en matières plastiques biodégradables et biosourcées avec les biodéchets en vue d'un traitement par compostage ou méthanisation n'est réglementairement pas possible (Figure 5). Mais, certains de ces articles sont déjà commercialisés ou en passe de l'être (ex. bouteilles en PLA, couches biodégradables et biosourcées). Leur collecte avec les biodéchets étant impossible, des systèmes de collecte et/ou de tri et de traitement dédiés devront être mis en œuvre pour que la revendication de compostabilité ou méthanisation, qui sous-tendent l'intérêt même de ces matières plastiques, soit effective.

4.8 Normes relatives à la détermination de la teneur en produits ou carbone biosourcés

Il existe plusieurs normes permettant de déterminer la teneur en « biosourcé » dans un matériau :

- les normes NF EN 16640:2017 et ISO 16620-2:2019 permettent de déterminer la teneur en carbone biosourcé dans des produits à partir du mesurage de la teneur en ^{14}C ;
- les normes NF EN 16785-1:2015 et ISO 16620-4:2016 spécifient une méthode de détermination de la teneur en masse biosourcée dans des produits plastiques, basée sur l'analyse au radiocarbone et une analyse élémentaire ;
- la norme NF EN 16785-2:2018 spécifie une méthode de détermination de la teneur biosourcée basée sur le bilan-matières.

4.9 Normes relatives à la fin de vie des matériaux plastiques biodégradables et compostables

Il existe un certain nombre de normes internationales relatives au compostage des matières plastiques biodégradables. Ces normes englobent des normes de spécification ou d'essai¹⁴.

L'ADEME ayant déjà réalisé un recensement, une description et une comparaison de ces normes, le présent rapport se limite à une description, à une comparaison et une analyse critique des normes relatives au compostage des emballages en conditions industrielles (NF EN 13432:2000) et des matières plastiques en conditions domestiques (NF T51-800:2015), qui fournissent des éléments de réponse aux questions 2 et 3 de la saisine (cf. chapitre 6).

En 2020, l'ADEME a identifié plus de 50 normes portant sur la biodégradation des matériaux, dont 45 relatives aux matières plastiques dans différents compartiments environnementaux (sols, eau douce, eau de mer) (Tableau 1). Des comparaisons de normes pour l'évaluation de la compostabilité des matières plastiques ou des emballages sont plus précisément présentées dans le rapport de l'ADEME (ADEME, 2020).

Tableau 1 : Inventaire des normes relatives à la biodégradation des matières plastiques et réparties en fonction de leur nature et par milieu d'évaluation (ADEME, 2020)

Typologie	Inventaire			
	F	S	A/E	Tot.
Méthanisation	0	0	6	6
Compostage industriel et compostage domestique	0	4	9	13
Sol	0	3	3	6
Eau douce	0	0	4	4
Eau de mer	0	2	10	12
Tous milieux	3	0	1	4
TOTAL	3	9	33	45

Typologie des normes : F : Fondamentale ; S : Spécifications ; A/E : Analyses et Essais

La multitude de ces normes est source de confusion pour leurs utilisateurs. De plus, les termes « biodégradation », « dégradation », « fragmentations », « désintégration », « biodégradable », « compostable », « dégradé » devraient être homogénéisés, simplifiés et clarifiés.

Selon les experts, les matières plastiques commercialisées revendiquées biodégradables et compostables ne sont pas certifiées pour l'ensemble des compartiments.

Une norme de spécification pour chaque compartiment environnemental (sol, eau douce ou eau de mer) s'avère nécessaire.

¹⁴ Selon l'ADEME, « la norme de spécifications précise la méthode, en s'appuyant sur une ou plusieurs normes d'analyses et d'essais, les seuils, les durées d'essais et les modifications à la méthode si des conditions spécifiques sont nécessaires. En effet, les normes de spécifications préconisent l'utilisation d'une méthode définie dans une norme d'analyse et d'essais et peuvent préconiser des compléments et/ou modifications (par exemple température ou durée différentes de celles préconisées dans la méthode de la norme d'analyse et d'essais...) » (ADEME, 2020).

5 Composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables

Pour rappel, une matière plastique est un mélange d'un ou de plusieurs polymères, avec des additifs et des charges. Les matières plastiques conventionnelles (polystyrène (PS), polypropylène (PP), polytéréphtalate d'éthylène (PET), *etc.*) sont majoritairement constituées de substances (monomères, additifs, *etc.*) d'origine fossile. On parle alors de matières plastiques pétrosourcées.

Dans le cas des matières plastiques biosourcées, cela signifie que les polymères et les additifs sont, en totalité ou partiellement, soit extraits directement de la biomasse (on parlera alors de biopolymères), soit issus de la transformation chimique de substances issues de la biomasse (par exemple, par polymérisation de monomères issus d'agro-ressources). La Figure 6 illustre les voies d'obtention de substances (monomères ou additifs) ou de polymères à partir de la biomasse.

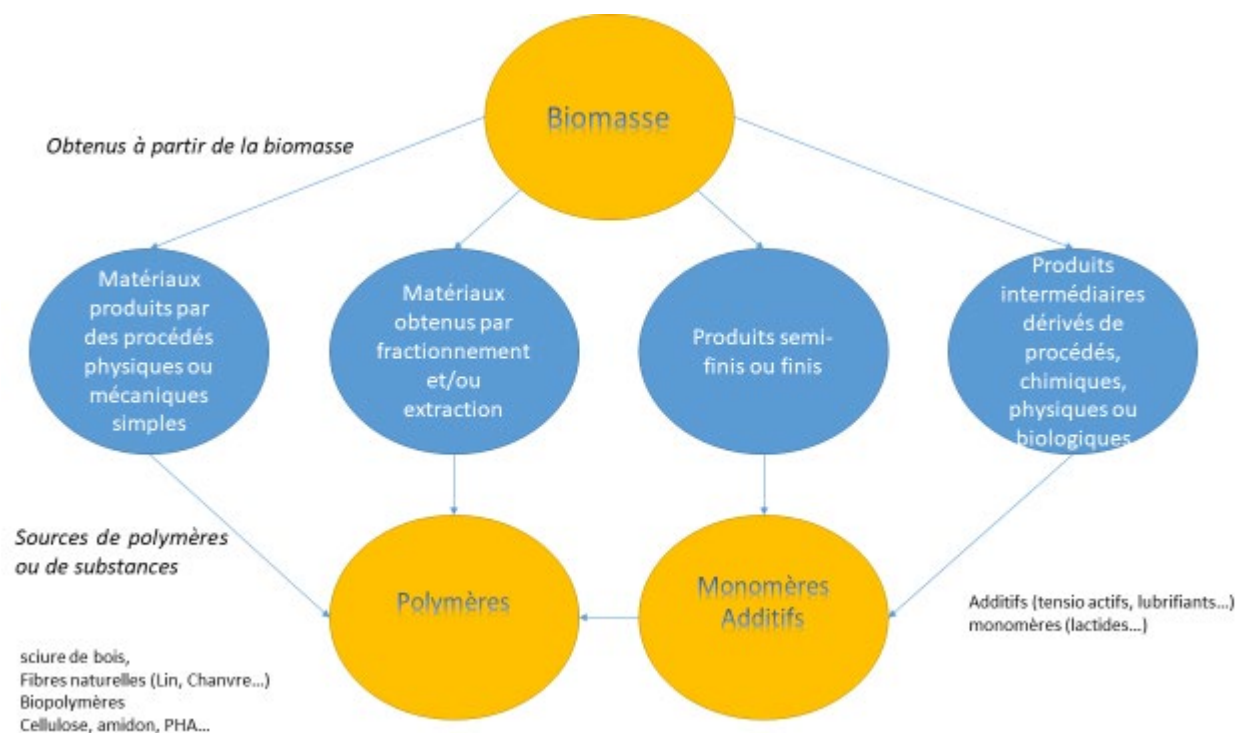


Figure 6 : Voies d'obtention de substances (monomères ou additifs) ou de polymères à partir de la biomasse

La formulation de ces matériaux utilisés est partiellement connue aussi bien pour les matières plastiques conventionnelles, c'est-à-dire pétrosourcées, que pour les matières plastiques biosourcées et biodégradables. En effet, leur composition relève en général du secret industriel, notamment en ce qui concerne les additifs. Il existe également des incertitudes relatives à la nature du polymère (ex. grade utilisé).

5.1 Focus sur les monomères et les additifs

Les monomères et additifs biosourcés sont issus de la transformation, en une ou plusieurs étapes, de la biomasse (Figure 6). Ces petites molécules peuvent être extraites et utilisées directement (par exemple huiles, gommages naturelles) ou subir des transformations chimiques. Par analogie avec l'industrie pétrolière, les unités de transformation de la biomasse sont regroupées dans des bioraffineries. Les monomères obtenus par ce procédé serviront de matières premières à l'élaboration de polymères biodégradables ou pas. Il est ainsi possible actuellement de synthétiser un grand nombre de polymères en partie ou en totalité à partir de monomères biosourcés (par exemple polyéthylène (PE) biosourcé), l'un des critères limitants étant le coût de fabrication (Fei *et al.*, 2022 ; Hu *et al.*, 2019 ; Ferreira-Filipe *et al.*, 2021 ; Platnieks *et al.*, 2020).

Concernant les additifs, qu'ils soient biosourcés ou non, ils sont ajoutés à la formulation de la matière plastique afin notamment d'améliorer ses propriétés physiques (e.g. mécaniques, thermiques, barrière) ou chimiques et sa mise en œuvre.

Pour des applications MCDA, les additifs doivent figurer dans l'annexe 1 du règlement (UE) n°10/2011. Parmi les 1077 substances figurant dans cette annexe, 805 sont utilisées comme additifs ou auxiliaires de production de monomères. Le nombre d'additifs et leur concentration dans une matière plastique dépend des propriétés désirées, des outils de transformation envisagés, *etc.* Pour toute application, l'ECHA a recensé 418 additifs possibles utilisés en grande quantité dans les formulations de matières plastiques¹⁵. Cependant, on ne connaît pas ceux qui sont biosourcés et biodégradables et leur teneur en carbone biosourcé.

D'après l'ECHA¹⁵, selon les propriétés recherchées de la matière plastique, une concentration type en additif peut varier de 0,1% à 35%. Le terme « adjuvant » est également utilisé pour décrire des additifs présents dans les matières plastiques à moins de 5 ou 10% en masse. Il concerne généralement les colorants ou pigments, les antioxydants, les anti-ultraviolets, les ignifugeants, des lubrifiants, les antistatiques, des agents gonflants, *etc.* Les plastifiants sont généralement présents à plus de 10% en poids (ex. PVC).

Hormis certains additifs aux fonctions spécifiques (ex lubrifiants externes), les additifs ont pour but de persister dans le matériau ou objet final. De ce fait, les additifs entrant dans la composition des matières plastiques biodégradables peuvent potentiellement se retrouver dans l'environnement s'ils ne se dégradent pas au préalable. Ainsi, avant toute mise sur le marché, il serait donc bon de s'assurer de la biodégradabilité des additifs et des monomères résiduels, notamment au regard des réglementations REACH et CLP, afin d'estimer au préalable leur impact sur la qualité du compost final.

¹⁵ <https://echa.europa.eu/fr/plastic-additives-initiative>, consulté le 12/05/2022 ; <https://echa.europa.eu/fr/mapping-exercise-plastic-additives-initiative>, consulté le 9/06/2022

5.2 Spécificité des polymères

5.2.1 Données générales

La Figure 7 représente l'ensemble des polymères biodégradables.

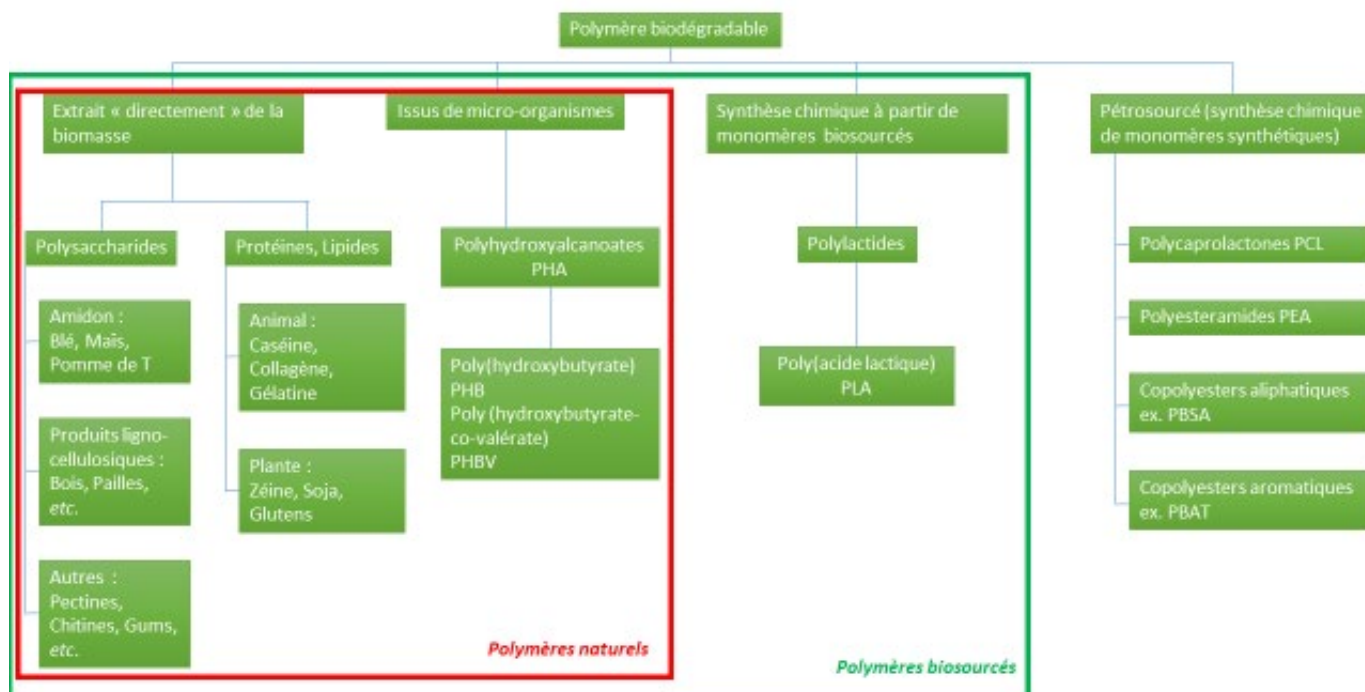


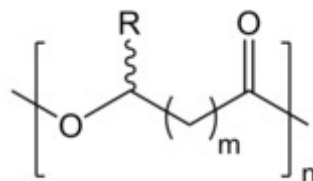
Figure 7 : Exemples de polymères biodégradables (adapté de Leconte, 2010 et Avérous, 2013)

5.2.2 Origine des polymères biosourcés et biodégradables

Les polymères biosourcés et biodégradables peuvent être classés en deux catégories :

- les polymères naturels ou biopolymères qui sont synthétisés par des organismes vivants (plantes, microorganismes, algues, *etc.*) puis extraits directement de la biomasse (Figure 7). Ces biopolymères (amidons, cellulose, lignine, *etc.*) présentent des structures et/ou caractéristiques physico-chimiques (ex. masse molaire) qui varient en fonction de l'origine de la biomasse (Abe *et al.*, 2021 ; Boey *et al.*, 2021 ; Jeremic *et al.*, 2020 ; Liyanage *et al.*, 2021 ; Mazhandu *et al.*, 2020 ; Mroczkowska *et al.*, 2021 ; Nakanishi *et al.*, 2021 ; Teixeira-Costa et Andrade, 2021).

Produite également par la biomasse, la famille des polyhydroxyalcanoates (PHA) (environ 150 polymères - Raza *et al.*, 2018) regroupe des polyesters thermoplastiques biodégradables, issus de la fermentation bactérienne de sucres ou de lipides (Figure 8). Ces polymères font actuellement l'objet d'un grand nombre de travaux de recherche, notamment sur leur production et leur biodégradation (Bejagam *et al.*, 2022 ; Blunt *et al.*, 2018 ; Brojanigo *et al.*, 2020 ; David *et al.*, 2020 ; Garcia *et al.*, 2021 ; Huaman-Castilla *et al.*, 2021 ; Koller, 2018 ; Koller *et al.*, 2020 ; Peregrina *et al.*, 2021 ; Santolin *et al.*, 2021 ; Tan *et al.*, 2019 ; Vigneswari *et al.*, 2021).



avec $R \neq \text{CH}_3$

Figure 8 : Structure des polyhydroxyalcanoates (PHA)

La biosynthèse de ces polymères dépend de nombreux paramètres, notamment de la nature des microorganismes, des conditions expérimentales (température, nature des substrats, teneur en N, K, O₂, stress induit, etc.). Ceci conduit à l'obtention d'une multitude d'homo- ou copolymères thermoplastiques.

- les polymères biosourcés qui sont notamment des polymères issus de la polymérisation de monomères biosourcés (par exemple le PLA, issu de la polymérisation par ouverture de cycle du lactide) (Figure 9) (Borowicz *et al.*, 2019 ; Diaz-Galindo *et al.*, 2020 ; Frone *et al.*, 2020 ; Rezvani Ghomi *et al.*, 2021).

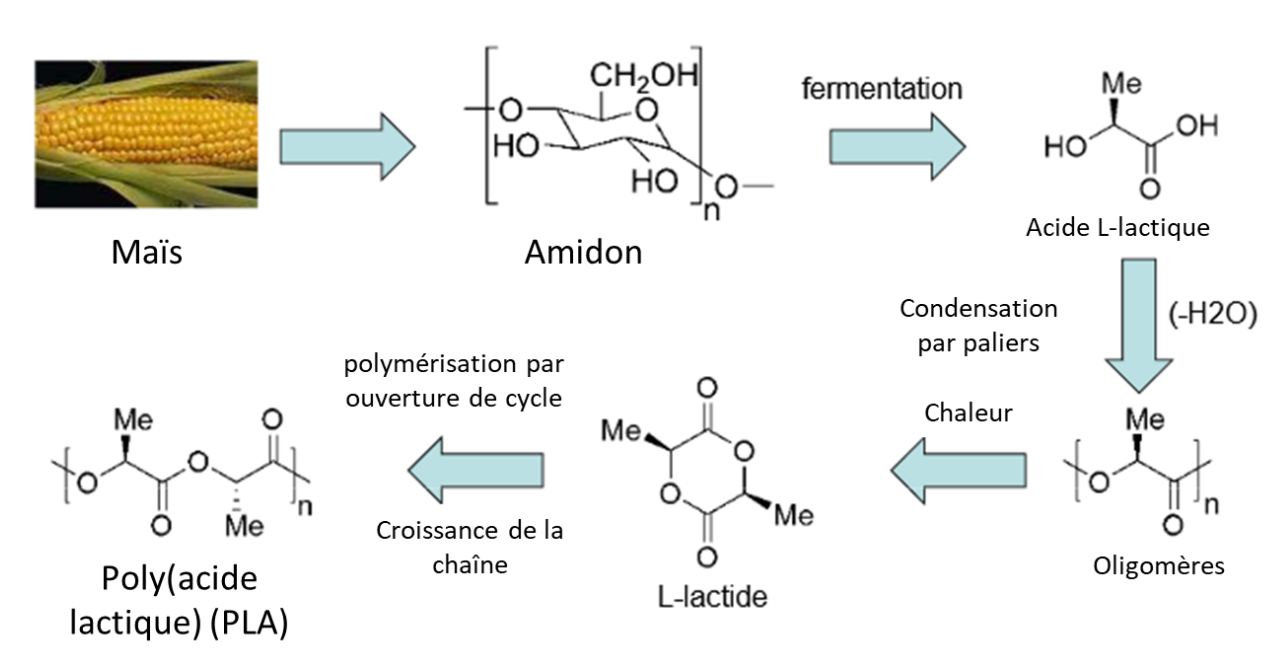


Figure 9 : Synthèse d'un PLA

Dans cette catégorie, certains copolymères¹⁶ peuvent être obtenus *via* des réactions de polycondensation de monomères issus en partie ou en totalité de la biomasse. C'est le cas de certains PBS ou PET biosourcés¹⁷.

¹⁶ Polymère issu de la copolymérisation d'au moins deux types de monomère, chimiquement différents.

¹⁷ <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/les-premieres-bouteilles-pet-100-biosourcees-sortent-dusine-107385/>, consulté le 23/05/2022

Il est important de rappeler qu'un polymère biosourcé n'est pas nécessairement biodégradable (Figure 10).

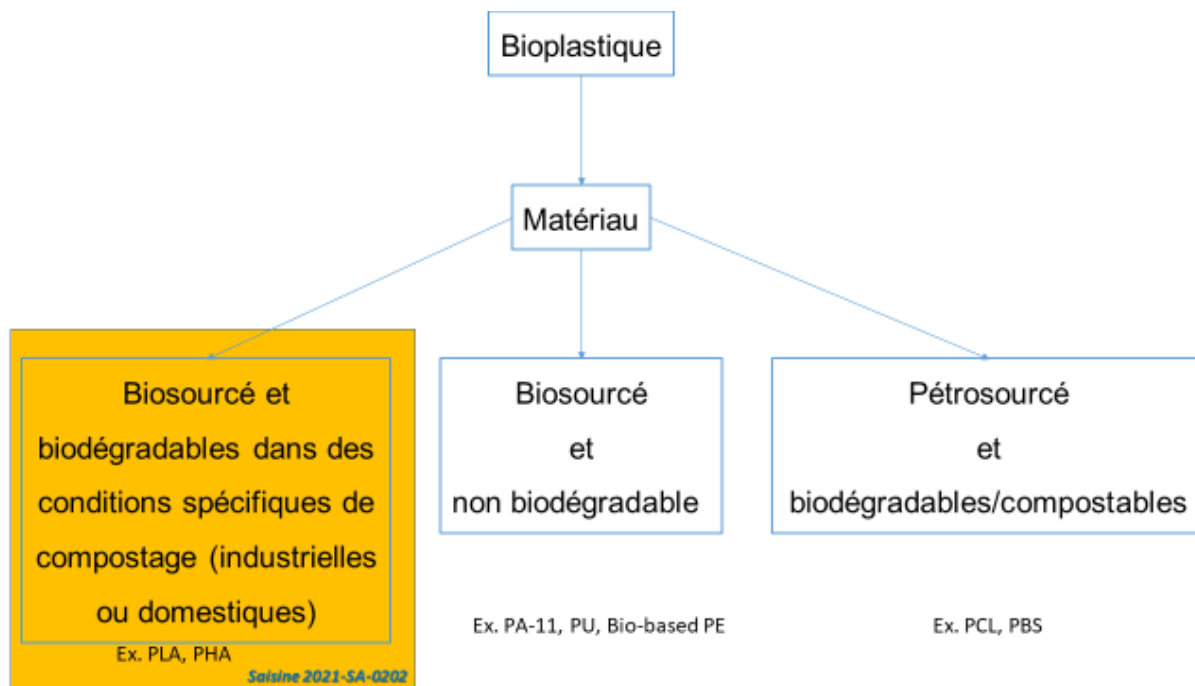


Figure 10 : Classification des bioplastiques (adapté de Leconte, 2010)

5.3 Réflexions sur la composition des matières plastiques biosourcées

La teneur minimale en matières biosourcées est uniquement réglementée dans le secteur des matières plastiques à usage unique (sacs ou objets à usage unique). Pour les autres applications, aucun seuil réglementaire n'est imposé en cas de revendication « biosourcée ».

Selon l'article R. 543-72-2 du Code de l'environnement, « *la teneur biosourcée minimale des sacs en matières plastiques à usage unique mentionnés au 2° du II de l'article L. 541-10-5 est de : 30 % à partir du 1^{er} janvier 2017 ; 40 % à partir du 1^{er} janvier 2018 ; 50 % à partir du 1^{er} janvier 2020 ; 60 % à partir du 1^{er} janvier 2025* ». Les mêmes exigences concernant les gobelets, verres et assiettes jetables de cuisine en matière plastique figurent dans l'article D543-296 du Code de l'environnement.

Le GT souligne les points suivants :

- parmi les 418 additifs listés par l'ECHA, on ne connaît pas ceux qui sont biosourcés et biodégradables ni leur teneur en carbone biosourcé ;
- actuellement, certains sacs en matières plastiques, revendiqués biosourcés en référence aux deux articles du Code de l'environnement ci-dessus, ne le sont que partiellement. Cette variabilité peut faire référence à la fois aux monomères, aux additifs et aux polymères entrant dans la composition de ces sacs ;
- l'obligation légale citée dans l'article R. 543-72-2 ne s'applique qu'aux sacs en matières plastiques à usage unique et non à l'ensemble des matériaux plastiques biosourcés. Le GT souligne l'importance d'avoir un affichage clair de la teneur en polymère biosourcé pour tous les usages. A ce propos, le GT note que l'utilisation de terres agricoles pour

produire certaines substances biosourcées fait actuellement l'objet de débats qui ne rentrent pas dans le cadre de cette expertise ;

- afin d'éviter toute confusion pour les consommateurs, il apparaît nécessaire que les industriels les informent de la teneur réelle en matière biosourcée qui compose le produit fini ainsi que de son origine. Mais au-delà de l'information destinée aux consommateurs, il est important de noter qu'un matériau biosourcé n'est pas forcément biodégradable, la biodégradabilité étant la propriété la plus importante au regard du risque de dispersion dans l'environnement ;
- enfin, le GT s'interroge sur un impact environnemental probable de la fraction non ou faiblement biodégradable des matières plastiques biosourcées.

6 Dégradation des matières plastiques en conditions de compostage industriel et domestique

Comme indiqué au chapitre 4.5.3., le présent rapport se limite à une description, une comparaison des normes relatives au compostage des emballages en conditions industrielles (NF EN 13432:2000) et des matières plastiques en conditions de compostage domestique (NF T51-800:2015) et à leur analyse critique, qui fournissent des éléments de réponse aux questions 2 et 3 de la saisine. Il ne traite pas du volet exposition professionnelle des salariés travaillant sur les plateformes de compostage¹⁸, ni de l'évaluation d'autres normes traitant de la compostabilité des matières plastiques telles que les normes NF 14995:2007 et ISO 17088:2012.

Les matières plastiques répondant aux exigences des deux normes citées ci-dessus sont :

- soit les matières plastiques biosourcées et biodégradables dans des conditions spécifiques de compostage (domestique et/ou industrielle) ;
- soit des matières plastiques issues de ressources pétrolières mais biodégradables/compostables (cette catégorie ne fait pas l'objet de la saisine, cf. Figure 10).

Pour rappel, un matériau biodégradable se décompose sous l'action de micro-organismes.

Les deux normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 traitent de la biodégradation aérobie des matières plastiques qui aboutit à l'émission d'eau, de dioxyde de carbone et de nouvelles biomasses. Ce processus est à distinguer de la phase de désintégration¹⁹ ou de fragmentation des matières plastiques qui aboutit à une diminution de taille des matériaux et à des fragments, qui peuvent alors devenir invisibles et atteindre le nanomètre.

Il est à noter que certains produits commerciaux en matières plastiques revendiquées biodégradables ne le sont que dans des conditions de compostage industriel. Selon l'ADEME, le compostage industriel est « *un procédé de transformation aérobie de matières fermentes cibles dans des conditions contrôlées industriellement. Il permet l'obtention d'une matière fertilisante stabilisée riche en composés humiques, le compost. Il s'accompagne d'un dégagement de chaleur et de gaz carbonique* »²⁰.

Concernant les substances (monomères et additifs), au titre des règlements REACH et CLP et des lignes directrices OCDE, une substance est dite biodégradable ou rapidement biodégradable quand, après 28 jours, 60% ou 70% (selon le type de test) de minéralisation (biodégradation ultime) de la substance sont observés.

¹⁸ En 2010, l'INRS a dressé un inventaire non exhaustif des risques chimiques et biologiques encourus par les salariés sur les plates-formes de compostage (INRS, 2010). En 2020, cet institut s'est intéressé à la polyexposition chimique à laquelle sont exposés les travailleurs des filières de compostage et de méthanisation (Duquenne et Battais, 2020).

¹⁹ On parle de désintégration lorsqu'il y a fracture d'un matériau en très petits fragments (90% de granulométrie inférieure à 2 mm – NF EN 13432). La désintégration est également définie comme la « *décomposition physique d'un matériau en petits fragments* » (ISO 472 : 2013, définition 2.1757) ou la « *cassure physique d'un matériau en très petits fragments* » (ISO 17088 : 2012, définition 3.6) (ADEME, 2020).

²⁰ https://bilans-ges.ademe.fr/documentation/UPLOAD_DOC_FR/index.htm?compostage-industriel.html, consulté le 15/06/2022

6.1 Description des normes

En France, deux normes concernent le compostage des emballages ou des matières plastiques (Tableau 2) :

- la norme européenne NF EN 13432:2000 traite de la valorisation des emballages par biodégradation. Cette norme spécifie les exigences et les procédures permettant de déterminer la possibilité de composter industriellement ou domestiquement les matériaux d'emballage ;
- la norme française NF T51-800:2015 qui spécifie les procédures et les exigences relatives aux matières plastiques aptes au compostage domestique. Cette norme est actuellement utilisée pour la caractérisation des matières plastiques biodégradables en compost domestique.

En France, la norme NF EN 13432:2000 est utilisée pour le compostage industriel et la norme NF T51-800:2015 pour le compostage domestique.

Ces deux normes ont été rédigées par des commissions regroupant une forte majorité d'industriels (près de 80 % des sièges). La loi dite AGEC s'appuie sur la norme NF T51-800:2015 comme critère de compostabilité. Cette norme est d'application volontaire. Les tests expérimentaux ne sont donc pas obligatoires avant la mise sur le marché d'un matériau plastique biodégradable. De la même manière, la mise sur le marché d'une matière plastique revendiquée biodégradable et compostable n'oblige pas à satisfaire aux normes de biodégradation dans les compartiments eau douce, eau de mer et sol.

Ces normes relatives au compostage en conditions industrielle ou domestique sont des normes de spécification, c'est-à-dire qu'elles agencent différentes normes d'essai relatives aux protocoles opératoires (par exemple : taille des flacons, durée de l'essai, *etc.*). Ces deux normes renvoient à des spécifications de résultats attendus à l'issue des essais, à savoir une précision sur le pourcentage de biodégradation (90 % en absolu ou en relatif à un référentiel) ou sur la durée des essais.

Tableau 2 : Comparaisons des normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 (ADEME 2020)

<u>Domaines</u>		<u>Emballage</u>	<u>Matière plastique</u>
<u>Normes</u>		<u>NF EN 13432:2000</u> <u>Compostage industriel</u>	<u>NF T51-800:2015</u> <u>Compostage domestique</u>
<u>Objectifs</u>		Spécifie les exigences et les méthodes permettant de déterminer la possibilité de composter et de traiter les emballages et les matériaux d'emballage	Spécifie les exigences et les méthodes permettant de déterminer la possibilité de composter les plastiques en conditions de compostage domestique
<u>Matériel concerné</u>		Emballage et matériaux d'emballage si séparable facilement manuellement	Matières plastiques
<u>Caractérisation</u>	<u>Solides volatils</u> ²¹	> 50 %	
	<u>Niveaux d'acceptabilité des métaux lourds (en mg/kg MS)</u>	Zn < 150 ; Cu < 50 ; Ni < 25 ; Cd < 0,5 ; Pb < 50 ; Hg < 0,5 ; Cr < 50 ; Mo < 1 ; Se < 0,75 ; As < 5 ; F < 100.	
	<u>Substances organiques</u>	-	Co < 38
	<u>Substances organiques</u>	-	Ne doit contenir aucun perturbateur endocrinien, aucune substance CMR et aucune substance extrêmement préoccupante (SVHC) ²² candidate à autorisation
<u>Biodégradabilité</u>	<u>Type de biodégradabilité</u>	Compostage industriel Compost industriel ou « fait maison » bien aéré âgé de 2 à 4 mois, tamisé à 3 mm et mélangé à du sable marin lavé et séché à 105 °C puis ajusté à 15 % d'humidité	Compostage industriel direct ²³ Compost industriel ou « fait maison » bien aéré âgé de 2 à 4 mois, tamisé à 3 mm et mélangé à du sable marin lavé et séché à 105 °C puis ajusté à 15 % d'humidité
	<u>Norme de référence pour l'essai</u>	ISO 14855. Si ne convient pas au matériel d'essai : ISO 14851 et ISO 14852	Selon NF EN ISO 14855-1 ou -2 Si ne convient pas au matériel d'essai : ISO 14851 et ISO 14852 (eau douce)
	<u>Durée et température de l'expérience</u>	Max. 6 mois 58 ± 2 °C Obscurité	< 12 mois 25 ± 5 °C (< 30 °C) Obscurité
	<u>Paramètres de validation</u>	- Matériel d'essai ≥ 90 % de biodégradation absolue en 6 mois maximum	• Biodégradation du témoin positif (cellulose) à 70 % en 90 jours

²¹ Les solides totaux volatils représentent la perte de substances volatiles lorsque l'échantillon est chauffé à 550 °C.

²² <https://www.ineris.fr/fr/risques/dossiers-thematiques/substances-chimiques-consommation-scan4chem-accompagne/svhc-substances>, consulté le 15/06/2022

²³ Un des biais de la méthode est d'utiliser un inoculum issu d'un compost industriel pour lequel on peut se poser la question de la représentativité des bactéries et autres champignons au regard des conditions environnementales du compostage domestique qui n'atteint pas les mêmes températures. L'écologie microbienne n'est pas la même, pourtant le protocole normalisé est mentionné.

		ou - Matériel d'essai ≥ 90 % de biodégradation par rapport au matériau de référence une fois un plateau atteint pour les deux.	<ul style="list-style-type: none"> Écart entre les pourcentages de biodégradation des différentes répétitions du matériau de référence < 20 % en fin de test Activité de l'inoculum (blanc) entre 10 et 50 mg de CO ₂ /g de carbone de solides volatils en 10 jours
Désintégration	Type de désintégration	Compostage direct	
	Norme de référence pour l'essai	WI 261 074 ou essai dans une installation à taille réelle de traitement des déchets : préconisation : 5 L à plus de 140 L	<i>Méthode quantitative</i> (selon NF EN ISO 20200, ISO 16929 ou NF EN 14045 modifiées) <i>Méthode qualitative</i> sur cadres de diapositives (10 minimum) et sous réserve que le degré de désintégration ait été validé au préalable par la méthode quantitative (ISO 16929 ou NF EN 14045)
	Type de matériau d'essai	Matériau d'emballage complet. Rapport matériau / compost : 1 % matériau d'essai (masse humide, forme finale) + 9 % matériau d'essai (masse humide, en poudre ou en granulés)	Test réalisé sur les produits dans leur forme d'usage ; si applicable choisir la forme la plus épaisse ou la plus dense du produit Rapport matériau/compost : 1% matériau d'essai (masse humide, forme finale) + 9% matériau d'essai (masse humide, en poudre ou en granulés)
	Durée et température de l'expérience	Max. 12 semaines Température : Seuils : < 75 °C > 60 °C pendant au moins une semaine puis > 40 °C pendant quatre semaines consécutives	180 jours Température 25 ± 5 °C et dans l'obscurité
	Paramètres de validation	- Matériel d'essai ≤ 10 % MS initiale peut faire l'objet d'un refus pour une maille > 2 mm - pas de contamination visuelle du compost	
Écotoxicité	Référentiel	OCDE 208	
	Quantité	25 % et 50 % (m/m ou v/v) entre compost et matériel de référence	
	Types d'essai	- Essai sur deux plantes supérieures - ≥ 200 g d'échantillon et ≥ 100 graines par plateau	
	Nombre d'essais	3 essais par mélange	
	Paramètres de validation	Taux de germination et biomasse végétative des composts échantillons > 90 % des témoins	

MS : matière sèche

6.2 Analyse des normes et critères d'acceptation

Le Tableau 2 montre une forte proximité de ces deux textes, notamment dans les normes d'essai qui sont proposées. En effet, les seuils²⁴ des normes d'essai pour la biodégradabilité et la désintégration sont les mêmes. Les différences entre les 2 normes portent principalement sur la maîtrise des températures à atteindre, plus élevées en conditions de compostage industriel. Il est à noter que les paramètres (température et hygrométrie) appliqués lors d'un test de compostage industriel ne reflètent pas les conditions de biodégradation relevées dans l'environnement, quels que soient les compartiments (sol, eau douce ou eau de mer) ni en méthanisation. De plus, ce qui se passe dans l'environnement ne se limite pas au seul processus de biodégradation. De ce fait, le GT alerte sur le fait qu'il n'est pas possible d'affirmer que tout matériau répondant aux exigences de la norme NF EN 13432:2000 (compostabilité en condition industrielle) se dégrade totalement s'il est dispersé dans l'environnement. De même, les conditions de test appliquées dans la norme NF T51-800:2015 suivent un protocole de laboratoire difficilement applicable ou généralisable sur tout le territoire français (écart de températures, respect du protocole par les particuliers sans contrôles possibles, etc.). Parmi les autres éléments qui séparent ces 2 normes, le GT a noté les durées d'application des traitements d'essai, ainsi que des demandes sur la caractérisation des matières plastiques testées avec la norme NF T51-800 pour définir leur aptitude au compostage domestique. Le test de biodégradabilité s'effectue sur un matériau plastique dont la forme n'est pas nécessairement celle qui est mise sur le marché. Le test a pour but de montrer sa capacité à se biodégrader en suivant l'apparition de dioxyde de carbone. La désintégration, quant à elle, montre la disparition du produit sous sa forme mise sur le marché (ex : film).

Pour les compostages en conditions domestique et industrielle, des pertes de matières plastiques liées à des mauvaises pratiques et/ou des aléas climatiques peuvent avoir lieu suite à leur introduction dans un tas mis en compostage. En effet, l'ADEME a publié, en 2020, les résultats d'une étude qui avait suivi le devenir de sacs de fruits et légumes en matières plastiques biodégradables et compostables en compostage en conditions domestique et industrielle (ADEME, 2020). Il apparaissait que :

- pour le compostage domestique :
 - la conduite d'un compostage en tas (hors d'un composteur) conduit à l'envol de 20 % des sacs disposés dans l'expérimentation ;
 - les sacs ne sont pas complètement désintégrés et des fragments compris entre 0 et 1 mm sont observés à l'œil nu dans les composts après 18 mois de traitement ;
 - sur la base d'une observation visuelle, les conditions de compostage domestique (selon les règles de l'art ou non) ont une incidence sur la désintégration des sacs ;
- pour un compostage industriel :
 - la conduite du compostage en andain industriel²⁵ génère des envols de sacs ;

²⁴ Paramètres de validation (Tableau 2)

²⁵ Désigne la structure allongée et souvent triangulaire ou trapézoïdale construite pour composter les déchets organiques en conditions industrielles.

- des fragments de sacs plastiques biodégradables et compostables ne sont pas observés dans les composts au bout de 6 mois de compostage ;
- les composts produits ne sont écotoxiques qu'au regard des tests suivants : phytotests, tests aigus et chroniques sur vers de terre, minéralisation de l'azote et nitrification dans les sols, mobilité de *Daphnia magna* et croissance de l'algue *Pseudokirchneriella subcapitata*.

Les deux normes présentées ci-dessus ne permettent pas de prédire la disparition environnementale de ces plastiques. De plus, même si le compostage en conditions industrielles est plus efficace, plus traçable et permet une meilleure dégradation des matières plastiques, le risque de dispersion environnementale de résidus issus d'une biodégradation incomplète des matières plastiques biodégradables et compostables existe. La certification de la dégradation de ces derniers dans différents milieux environnementaux reste souhaitable.

Pour pouvoir être désignées comme « valorisables par des méthodes organiques », les normes de spécifications relatives au compostage industriel (NF EN 13432:2000 pour les emballages) et à domicile (NF T51-800:2015 pour les matières plastiques) comportent quatre critères d'acceptation qui doivent tous être validés individuellement. Ces critères sont décrits ci-après et complétés pour chaque critère par des points de vigilance identifiés par le GT.

1- Caractérisation, composition du matériau, avec valeurs seuils

Ce critère est relatif à l'identification de la composition du matériau avant l'essai et demande l'obtention d'informations sur les constituants et la teneur en carbone organique.

Pour la validation, les valeurs seuils concernent les teneurs en substances dangereuses (métaux lourds), en solides secs et volatils (> 50 %).

Plusieurs points de vigilance sur ce critère ont été relevés par le GT :

1. il n'est pas requis de procéder à une analyse fine de la composition. L'évaluation de la composition du matériau se base en pratique sur les données des fournisseurs, voire un spectre infra-rouge quand cela est possible. À noter toutefois qu'il est en général difficile de connaître avec précision la composition des matériaux plastiques du fait de la présence notamment d'additifs et de charges variés, d'impuretés et de substances non ajoutées intentionnellement (NIAS) (Kato et Conte-Junior, 2021), potentiellement non biodégradables au sens du règlement REACH ;
2. il n'est pas requis de procéder à une caractérisation chimique, physico-chimique et mécanique du matériau qui va avoir un impact sur la nature des fragments résiduels après compostage. À titre d'exemple, les fragments résiduels peuvent être différents après attaque microbienne d'un matériau « barquette à base d'amidon recouvert d'un liner de polyéthylène » et d'un matériau « barquette à base d'un mélange polyéthylène et amidon (blends) » ;
3. le cobalt ne figure pas parmi les métaux lourds à rechercher dans le compost dans la norme NF EN 13432:2000 contrairement à la norme NF T51-800:2015 ;
4. seule la norme NF T51-800:2015 exige, en lien avec le règlement REACH, l'absence de perturbateurs endocriniens, de substances CMR et de substances extrêmement préoccupantes (*substance of very high concern* ou SVHC) candidates en vue d'une autorisation ;
5. deux phrases identifiées dans la norme NF EN 13432:2000 peuvent porter à confusion lorsqu'on les rassemble :

- a. « *si un emballage est constitué de différents composants dont certains sont compostables et d'autres non compostables, l'emballage lui-même n'est pas compostable* »;
- b. « *la proportion totale de constituants organiques dont la biodégradabilité n'est pas déterminée ne doit pas dépasser 5%* ».

La norme NF T51-800:2015 présente également cette dernière phrase et précise également que « *si un produit plastique est constitué de différents composants, dont certains sont compostables en compostage domestique alors que d'autres ne le sont pas, le produit lui-même ne doit pas être désigné « apte au compostage domestique »*. Est-ce à dire que si 5 % de polyéthylène sont présents, et éventuellement dispersés, dans un matériau à 95 % de composés biodégradables, et que ce polyéthylène n'a pas été identifié en amont, la validation compostable industriellement est possible ? Si la réponse est oui, il y a clairement un risque de dissémination de microplastiques, puis de nanoplastiques, du fait du vieillissement des matériaux en présence d'UV et de phénomènes d'érosion.

2- Biodégradation : Évaluation en laboratoire

L'évaluation de la biodégradation s'effectue, soit par la mesure de la production de CO₂, soit par la mesure de la consommation d'O₂.

Pour la validation, une notion de vitesse doit être renseignée et un couple seuil/temps doit être respecté. Par exemple, pour la norme NF EN 13432 :2000, au terme de 6 mois d'essai, 90 % de biodégradation absolue doit être atteinte (90 % de conversion du matériau en CO₂) ou 90 % de biodégradation par rapport à un polymère de référence considéré comme biodégradable (par exemple cellulose microcristalline).

Divers points de vigilance sur ce critère ont été notés :

- en absolu, il ne semble pas être possible d'avoir 90 % de conversion en CO₂ sachant qu'une partie carbone du matériau est également incorporé dans les éléments constitutifs de la biomasse (développement microbien) ;
- dans la plupart des essais, la biodégradabilité est mesurée par rapport à un polymère de référence, tel que la cellulose microcristalline (Avicel®), qui peut ne rien avoir de commun avec les matériaux étudiés. Ainsi, l'hypothèse faite est que la proportion du carbone du matériau testé se retrouvant dans les éléments constitutifs de la biomasse microbienne est équivalente à celle du polymère de référence, quelle que soit la nature du matériau, ce qui reste à vérifier pour tous les polymères. Une question se pose quant à une possible surestimation de la biodégradation ;
- le milieu d'étude peut également avoir un impact. En effet, si le milieu est un compost, il est uniquement mentionné qu'il faut qu'il soit âgé de 2 à 4 mois avec une diversité de micro-organismes assez importante. En général, il est caractérisé par rapport à sa potentialité à dégrader la cellulose (70 % de la cellulose en moins de 45 jours pour l'industriel). Il est donc bien adapté au matériau de référence qu'est la cellulose microcristalline mais la majorité des matériaux testés pour leur compostabilité ne sont pas d'origine cellulosique. Le GT note un manque de précision sur le compost utilisé et/ou sur les critères permettant de définir sa composition. Il note également que l'usage d'un compost d'origine industrielle pour la normalisation d'un matériau apte au compostage domestique est peu adéquat ;

- il est important que l'évaluation de la biodégradabilité soit réalisée sur l'ensemble des compartiments environnementaux (sol, eau douce et eau de mer) et de bien démontrer que toutes les substances (additifs, monomères, etc.) associées à la fabrication des matières plastiques biodégradables et biosourcées sont sans danger pour la santé humaine et pour l'environnement.

3- Désintégrabilité : décomposition physique du matériau en très petits fragments

Pour la validation, un couple seuil/temps doit être respecté, à savoir qu'au terme de 12 semaines (soit 84 jours) ou 180 jours d'essai en fonction des normes, la masse des fragments de taille supérieure à 2 mm ne doit pas représenter plus de 10 % de la masse sèche initiale.

Les points de vigilance suivants ont été identifiés par le GT :

- le premier est relatif au fait que le matériau ne doit pas être observable visuellement au terme de l'essai. Ce critère n'est pas assez précis et mériterait d'être clarifié. Le critère de désintégrabilité reste difficile à appréhender et à relier au test de biodégradabilité. Le GT suggère que ce critère soit clairement explicité en précisant sa relation avec le critère de biodégradation ;
- hormis le contrôle de taille effectué au 3^{ème} mois d'essai, aucune autre spécification sur la taille des fragments générés n'est requise entre le début de l'essai et 3 mois (Figure 11) ;

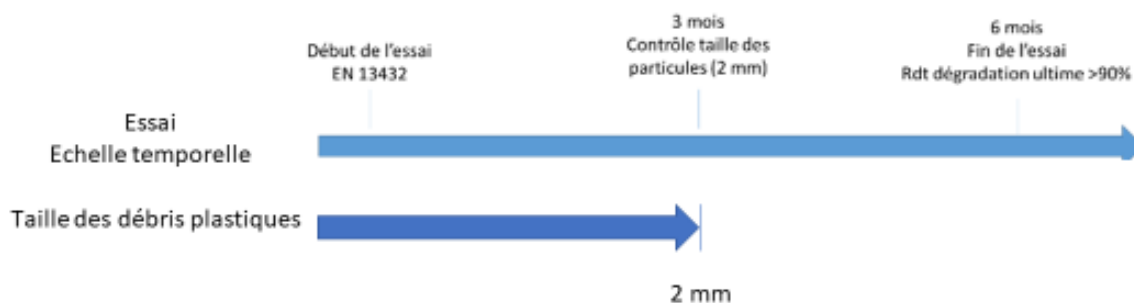


Figure 11 : Chronologie d'un essai de compostabilité selon la norme NF EN 13432:2000

- le taux maximal de 10 % du matériau (récupéré par un opérateur) obtenu par tamisage à 2 mm et lavage, après 84 ou 180 jours, pourrait entraîner une sous-évaluation de ces fragments et un risque potentiel de dissémination dans l'environnement de ces résidus de matériaux, et à terme, de micro- ou nano-plastiques²⁶. La norme NF U44-051, certifiant les amendements organiques, propose à ce jour un seuil de coupure à 5 mm pour les matières plastiques. Il existe un deuxième seuil à 2 mm pour définir l'étape de désintégration. La quantité de fragments contenus entre les seuils de 2 et 5 mm est alors quantitativement estimable. Les fragments de tailles inférieures à 2 mm ne sont pas estimés dans les normes existantes et pourront se disperser dans l'environnement lors de l'épandage des composts ;
- dans le cadre de matériaux dits naturels, la norme NF EN 13432:2000 précise que les pâtes à papier soient juste conformes au critère de désintégration, posant ainsi le problème d'une possible dissémination de fragments non cellulosiques pour des matériaux non 100 % « naturels ».

²⁶ Il n'y a pas de définition consensuelle mais une convergence de points de vue pour définir un nanoplastique comme étant un matériau de taille inférieure à 1 µm.

4- Qualité du compost final

Pour ce qui concerne la qualité du compost, ses caractéristiques physico-chimiques doivent être au moins à 90 % de celles du compost témoin correspondant.

Pour ce qui concerne l'écotoxicité, les tests d'écotoxicité (phytotoxicité) sont identiques dans les deux normes et sont pratiqués après un tamisage du compost suite aux essais de désintégration. **Les normes imposent d'évaluer la phytotoxicité aiguë** avec la détermination de l'impact sur la germination et la biomasse végétative, sur orge ou cresson en général, et comparée à un compost témoin.

Le compost participe également à l'amélioration des propriétés physiques et/ou chimiques et/ou biologiques des sols. En poursuivant sa décomposition dans le sol, il apporte différents éléments nutritifs à la plante. C'est pourquoi le compost constitue un amendement pour les sols.

D'après ces deux normes relatives aux amendements organiques NF U44-051 (dénominations, spécifications et marquage) et NF U44-095 (composts contenant des matières d'intérêt agronomique, issues du traitement des eaux), les valeurs limites en « matières inertes et impuretés »²⁷ dans les amendements organiques doivent être inférieures aux valeurs limites en pourcentage de matière sèche indiquées dans le Tableau 3. Des matières inertes et des impuretés d'origine exogène aux matières premières ne peuvent pas être ajoutées.

Le GT souligne l'importance que dans le cas d'apparition de produits issus de la biodégradation, ceux-ci soient sans effet néfaste pour l'Homme et l'environnement (écotoxicité ou/et persistance, bioaccumulation).

Paramètres	Valeurs limites
Films + PSE > 5 mm	< 0,3 % MS
Autres plastiques > 5 mm	< 0,8 % MS
Verres + métaux > 2 mm	< 2,0 % MS

Méthode XP U44 - 164

PSE : polystyrène expansé, MS : matière sèche

Tableau 3 : Valeurs limites en inertes et impuretés à respecter pour les amendements organiques

Les points de vigilance suivants ont été identifiés par le GT :

- le GT note qu'à ce jour, les deux normes relatives aux amendements organiques (NF U44-051 et NF U44-095) considèrent les débris de matières plastiques supérieures à 5 mm et ne stipulent rien pour les microplastiques. Ces textes pourraient évoluer dans un avenir proche et proposer un seuil de coupure à 2 mm ;
- concernant l'écotoxicité, celle-ci a été évaluée uniquement avec un test de phytotoxicité aiguë. Aucun test ne juge de l'impact sur l'écologie microbienne du sol et/ou des eaux. L'écotoxicité chronique n'est pas évaluée, ni même modélisée. Ce dernier critère demanderait à être intégré ;
- selon les normes, les tests de compostabilité sont réalisés sur le matériau fini ou les emballages. Néanmoins, en Europe, l'écotoxicité des monomères et additifs est

²⁷ Matières inertes et impuretés : substances présentes dans les matières premières ne présentant pas d'intérêt agronomique, telles que verre, métaux, films plastiques et PSE (polystyrène expansé), autres plastiques (cf. XP U 44-164).

évaluée selon les exigences requises dans le règlement REACh. De ce fait, une substance relarguée par le matériau dans l'environnement peut avoir un impact sur l'environnement et la santé humaine (en particulier si la substance présente des propriétés PBT). Par conséquent, il est fortement recommandé que les matériaux revendiqués « biodégradables » par les industriels répondent aux exigences de la réglementation REACh, en plus des contraintes réglementaires liées aux usages (en particulier MCDA) ;

- plus globalement, une question centrale se pose quant à la possible dissémination de résidus organiques et inorganiques et de débris plastiques dans une gamme de taille plus ou moins importante *via* l'utilisation de compost. L'impact de ces résidus ou débris sur l'environnement (sols, eau douce et eau de mer, air) et donc sur l'Homme, notamment sur le long terme, n'est absolument pas pris en compte dans ces normes.

D'autres points d'amélioration de ces normes pourraient être (1) l'harmonisation des critères d'évaluation avec le règlement REACh (évaluation de la facilité de biodégradation, de la persistance, *etc.*) et (2) des recommandations pour le compostage de terrain (mise en œuvre des andains) en vue d'éviter la fuite de matières plastiques vers l'environnement du fait de la faible densité de ces matériaux sensibles au vent (INRS, 2010). Cette libération entraîne aujourd'hui une pollution environnementale et, à terme, une dissémination dans l'environnement de micro- ou nanoplastiques est fortement probable.

Le GT estime qu'une mise à jour de ces normes est nécessaire. Celle-ci pourrait notamment tenir compte des résultats des travaux de recherche sur la recyclabilité et la dégradation des matières plastiques biodégradables (Barekova *et al.*, 2021 ; Colnik *et al.*, 2021 ; Folino *et al.*, 2020 ; Galera Manzano *et al.*, 2021 ; Havstad *et al.*, 2021 ; Hernandez-Garcia *et al.*, 2021 ; Hu *et al.*, 2019 ; Melchor-Martinez *et al.*, 2022 ; Narancic *et al.*, 2020 ; Quecholac-Pina *et al.*, 2020 ; Zhang *et al.*, 2017).

7 Effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux

Quel que soit le mode de compostage, les matières plastiques biodégradables vont induire la présence de microplastiques dans ces composts (désintégration). Leur utilisation peut ainsi induire la fuite de microplastiques dans l'environnement. Une fois dans l'environnement, ces microplastiques peuvent alors être ingérés par divers organismes vivants et, *in fine*, par l'Homme. L'exposition de l'Homme peut avoir lieu par diverses voies d'entrée dans l'organisme : la voie alimentaire (ingestion de boissons et d'aliments contaminés), la voie respiratoire (inhalation d'air) et la voie cutanée (eaux et produits cosmétiques) (Figure 12) (Fini, 2021).

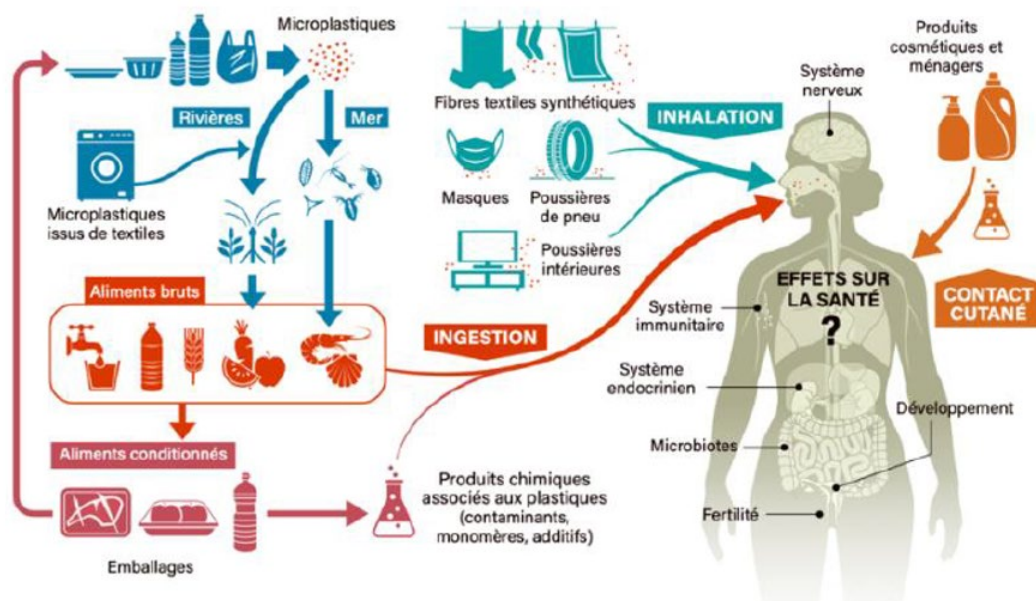


Figure 12 : Aperçu du cycle de vie des matières plastiques et de leurs interactions avec le corps humain (Fini 2021)

L'ingestion de matières plastiques biosourcées et biodégradables peut se faire de manière directe ou indirecte :

- ingestion directe, par exemple lors d'une mise en bouche d'un emballage ou d'un objet ou l'ingestion de film de paillage présent dans une salade ;
- ingestion indirecte pouvant résulter d'un processus migratoire avec transfert de molécules des matériaux vers des aliments. Ce processus peut avoir lieu, soit lors d'un contact entre un aliment et un emballage (usage MCDA), soit par la consommation d'aliments contaminés par des microplastiques. Ces contaminants pénètrent alors dans la chaîne alimentaire *via* les végétaux ou les animaux et poissons consommés par l'Homme.

Si les expositions aux micro- et nanoplastiques sont aujourd'hui avérées, les impacts associés sur la santé humaine sont beaucoup moins connus et devraient être étudiés. Les effets potentiels associés à l'ingestion de matières plastiques sont surtout liés aux contaminants de la chaîne alimentaire relargués par les matières plastiques ou aux additifs associés à la fabrication de celles-ci.

Concernant spécifiquement les matières plastiques et les microplastiques biosourcés et biodégradables, il n'a pas été identifié dans la littérature d'articles relatifs à leurs effets. Ainsi, afin d'identifier les dangers potentiels sur la santé humaine liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques qui découlent de leur dégradation, le GT a, dans un premier temps, déterminé la nature des différents constituants de ces matières plastiques, à savoir le(s) polymère(s), les additifs ou monomères préférentiellement utilisés dans ces matériaux (cf. chapitre 5). Dans un second temps, une recherche bibliographique (Annexe 3) a permis d'identifier une liste non exhaustive de substances entrant dans la composition de matières plastiques biodégradables, dont les polymères cités dans la Figure 7 (cf. chapitre 5.2. ; ex PLA, PHA, chitine, caséine, etc.). Le Tableau 4 ci-dessous vient compléter les informations disponibles dans les paragraphes précédents. La plupart des substances identifiées dans la recherche bibliographique ne présentent pas de classification harmonisée selon les critères CLP mais uniquement des notifications par les industriels. En l'absence de classification harmonisée, les notifications majoritaires ont été indiquées.

A noter que même si les polymères sont actuellement exemptés d'enregistrement dans REACH (cf. chapitre 4.3), ils ne sont pas exemptés de la réglementation CLP. Un polymère est alors considéré comme une substance et doit ainsi être notifié lorsqu'il est mis sur le marché dès lors qu'il remplit les critères de classification comme substance dangereuse (article 39.b du CLP).

La composition des matières plastiques conventionnelles, c'est-à-dire pétrosourcées et non biodégradables, et des matières plastiques biosourcées et biodégradables étant confidentielle (secret industriel), les données sur les additifs ou les monomères utilisés ou la nature du polymère (ex. grade utilisé) sont partiellement connus. La seule façon d'alerter actuellement sur un potentiel danger pour l'Homme consiste à lister les obligations liées aux usages de ces matériaux. En fonction des usages, la réglementation peut limiter le nombre de constituants entrant dans la composition de ces matériaux et s'assurer que les constituants présents sont sans danger. En effet, l'annexe 1 du règlement (UE) n°10/2011 liste l'ensemble des substances autorisées à entrer dans la composition des matières plastiques (cf. chapitre 4.2). De plus, pour tous les usages, la réglementation impose aux industriels de notifier les articles contenant des substances SVHC à des concentrations supérieures à 0,1% (m/m) dans la base de données SCIP (SCIP : Substances of Concern In articles as such or in complex objects - Products)²⁸. Pour tout usage, les industriels sont invités à consulter le site de l'ECHA qui comprend les classifications harmonisées CLP de l'ECHA (<https://echa.europa.eu/fr/regulations/clp/cl-inventory>) et le dossier technique contenant les résultats de tests toxicologiques généraux par voie orale pour toute substance enregistrée dans le cadre du règlement REACH.

²⁸ Base de donnée dans laquelle tout fournisseur d'un article, mis sur le marché en UE, doit déclarer la présence de substance extrêmement préoccupante (SVHC) figurant sur la [Liste Candidate](#), à une concentration supérieure à 0,1 % (m/m). <https://echa.europa.eu/fr/scip>

Tableau 4 : Données complémentaires sur les polymères, monomères et additifs utilisés dans la formulation de matières plastiques biosourcées et biodégradables et obtenues à la suite de la recherche bibliographique

Catégorie	Nom substance / Numéro CAS	Référence	Classification CLP (phrase H)	
			Classification harmonisée	Notifications majoritaires de classifications
Polymères	Copolymers de poly(butylène furandicarboxylate)-b-poly(éthylène glycol) (PBF) obtenue par réaction d'estérification de l'acide 2,5-furandicarboxylique et du 1,4-butylène glycol (CAS 110-63-4)	Hu <i>et al.</i> , 2019	-	-
	copolyesters aromatiques, dérivés de la nipagin A (= éthyl 4 hydroxybenzoate, CAS 120-47-8) et de l'eugénol (CAS 97-53-0)	Hu <i>et al.</i> , 2020	-	-
Monomères	Acide 2,5-furandicarboxylique (CAS 3238-40-2)	Fei <i>et al.</i> , 2022	Aucune	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315) STOT SE 3 (H335)
	1,4-butylène glycol (ou 1,4-butanediol) (CAS 110-63-4)	Hu <i>et al.</i> , 2019	Aucune	Acute Tox. 4 (H302) STOT SE3 (H336)
	Nipagin A (= éthyl 4 hydroxybenzoate) (CAS 120-47-8)	Hu <i>et al.</i> , 2020	Aucune	La majorité des industriels ne classe pas cette substance. <i>NB : bien que non majoritaire, de nombreux professionnels (447) classent cette substance Asp. Tox.1 (H304), Skin irrit. 2 (H315), Skin Sensitive 1 (H317) et Eye Irrit. 2 (H319)</i>
	Eugénol (CAS 97-53-0)	Hu <i>et al.</i> , 2020	Aucune	Skin Sens. 1B (H317) Eye Irrit. 2 (H319) Asp. Tox. 1 (H304)
Additifs	Fructose (CAS 57-48-7)	Abotbina <i>et al.</i> , 2021 ; Acquah <i>et al.</i> , 2020 ;	Aucune	Aucune
	Glycérol (CAS 56-81-5)	Borowicz <i>et al.</i> , 2019 ; Zahiruddin <i>et al.</i> , 2019	Aucune	Aucune
	Citrate de tributyle (CAS 77-94-1)	Chaos <i>et al.</i> , 2019	Aucune	Eye Dam. 1 (H318)

			En cours d'évaluation comme perturbateur endocrinien	
	Graphène (CAS 1034343-98-0) :	Barra <i>et al.</i> , 2020	Aquatic chronic 3 (H412) Eye Irrit. 2 (H319) STOT SE3 (other: respiratory tract) (H335) Skin Irrit. 2 (H315)	/
	Huile végétale (Chia seed oil) pas d'information sur le n° CAS	Dominguez-Candela <i>et al.</i> , 2021 ; Jia <i>et al.</i> , 2018	-	-
	Cellulose nano cristalline pas d'information sur le n° CAS	Galera Manzano <i>et al.</i> , 2021	-	-
	Acide citrique (CAS 77-92-9)	Jia <i>et al.</i> , 2018	Aucune	Eye Irrit. 2 (H319) STOT SE3 (other: respiratory tract) (H335)
	Agar (CAS 9002-18-0)	Sousa <i>et al.</i> , 2015	Aucune	Aucune
	Gélatine (CAS 9000-70-8), Gomme de xanthane (CAS 11138-66-2)	Melendez-Rodriguez <i>et al.</i> , 2021	Aucune	Aucune
	Acide arabique (CAS 32609-14-6) (substance préenregistrée)		Aucune	Eye Irrit. 2 (H319) Skin Irrit. 2 (H315)
	Sorbitol (CAS 50-70-4)	Rojas-Bringas <i>et al.</i> , 2021 ; Shafqat <i>et al.</i> , 2021 ; Zahiruddin <i>et al.</i> , 2019	Aucune	Aucune
	Thymol (CAS 89-83-8)	Velázquez-Contreras <i>et al.</i> , 2021	Acute tox 4 (H302) Skin Corr. 1B (H314) Aquatic Chronic 2 (H411)	/
	Carvacrol (CAS 499-75-2)		Aucune	Acute tox 4 (H302) Skin Corr. 1B (H314) Eye Dam 1 (H318) Aquatic Chronic 2 (H411) Skin Sens. 1 (H317)
Charges	Nanocharges (nanofillers) Pas d'information sur le n° CAS	Silva <i>et al.</i> , 2020 ; Tan <i>et al.</i> , 2022	-	-
	Fibres naturelles (natural fibers) Pas d'information sur le n° CAS	Salwa <i>et al.</i> , 2020	-	-

- : non renseigné ; aucune : n'a pas fait l'objet d'une opinion du Comité d'évaluation des risques (RAC) de l'ECHA ; / : lorsqu'une classification harmonisée était disponible, les notifications majoritaires de classifications n'ont pas été recensées.

8 Conclusions

En réponse aux questions posées par la DGPR, le GT émet les conclusions et recommandations suivantes relatives :

- à la composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (Figure 13) (question n°1) ;
- à l'efficacité de la dégradation de ces matières plastiques en compostage industriel et domestique (questions n°2 et 3) ;
- aux effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4).

La Figure 13 précise le champ d'application de l'expertise menée par le GT.

Matières plastiques (MP)

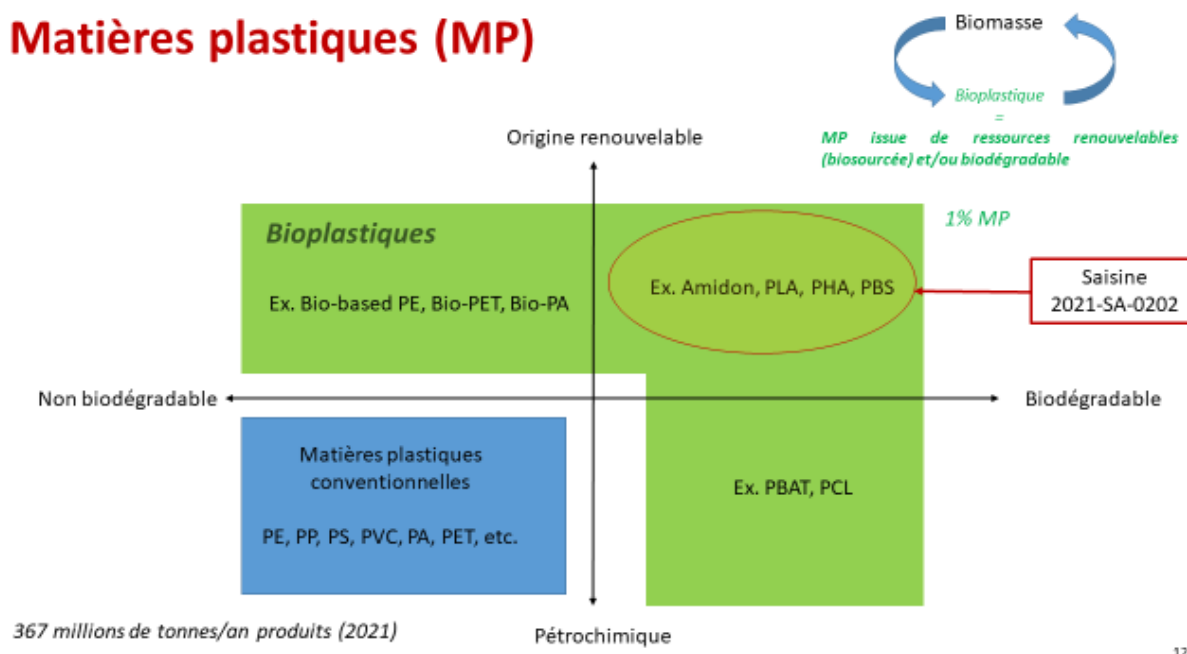


Figure 13 : Classification des matières plastiques en fonction de l'origine de leurs matières premières et de leur aptitude à la biodégradabilité

Le GT tient à rappeler qu'en dehors du secteur des sacs à déchets de cuisine et de table et du cas particulier de couches biodégradables, il n'a pas connaissance de filière de collecte de tri et de traitement des matières plastiques biodégradables et biosourcées en compostage industriel.

8.1 Composition des matières plastiques biosourcées et biodégradables (question n°1)

Concernant la composition des matières plastiques considérées dans l'expertise, le GT rappelle qu'une matière plastique est un mélange (formulation) d'un ou plusieurs polymères, d'additifs et de charges. Chaque formulation est spécifique de la matière plastique considérée. Comme pour les matières plastiques conventionnelles, les formulations des matières plastiques biosourcées et biodégradables dépendent des usages, des propriétés physico-chimiques et mécaniques attendues. Ces formulations relèvent du secret industriel. Par conséquent, la composition des matières plastiques n'est que partiellement connue. Toutefois, l'ensemble des constituants doit être enregistré dans le règlement REACH et listé dans le règlement (UE) n°10/2011 si le matériau revendique une application MCDA. De plus, pour tous les usages, les articles contenant des substances SVHC à une concentration supérieure à 0,1 % (m/m) doivent être notifiés par les industriels dans la base de données SCIP.

Il existe plusieurs types de polymères généralement utilisés dans la formulation des matières plastiques biosourcées et biodégradables. Les plus représentés sont les polyesters (PLA, PHA), l'amidon et la cellulose. Mais il est aujourd'hui impossible de dresser une liste exhaustive de tous les polymères employés. De même, le GT n'a pas pu identifier toutes les substances (additifs, monomères et charges) présentes dans ces matériaux et susceptibles de se retrouver *in fine* dans le compost. Il est à noter que le GT ne peut pas non plus avoir accès aux substances non ajoutées intentionnellement (*Non-intentionally added substances* - NIAS).

Une matière plastique est dite « biosourcée » si elle est entièrement ou partiellement issue de la biomasse (polymères et additifs compris). La teneur minimale en matières biosourcées est uniquement réglementée dans le secteur des matières plastiques à usage unique : sacs plastiques à usage unique (50% depuis le 1^{er} janvier 2020) et objets à usage unique. Pour les autres applications, aucun seuil réglementaire n'est imposé en cas de revendication « biosourcée ». Toute matière plastique biosourcée n'est pas nécessairement biodégradable (et vice versa).

Le GT recommande :

– aux industriels :

- de s'assurer que les additifs et monomères entrant dans la composition des matières plastiques biosourcées ne présentent pas d'effets néfastes pour l'environnement et la santé humaine ;
- si des substances SVHC sont présentes, de s'assurer du respect de l'obligation de les notifier dans la base de données SCIP lorsque la concentration est supérieure à 0,1% (m/m) ;
- concernant le critère « biosourcé », de spécifier à quel(s) constituant(s) ce critère s'applique (polymère, charges, additifs.), en indiquant également le pourcentage global du matériau issu de ressources renouvelables afin de permettre une bonne information des consommateurs et des utilisateurs en milieu professionnel ;

• aux pouvoirs publics :

- d'établir un cadre normatif reprenant les recommandations émises aux industriels ;

- d'étendre à l'ensemble des matières plastiques biosourcées et biodégradables les obligations réglementaires existant actuellement pour les matières plastiques à usage unique (sacs ou objets à usage unique) (ex. teneur minimale en matière plastique biosourcée pour utiliser l'appellation).

8.2 Efficacité de la dégradation de ces matières plastiques en compostage industriel et domestique (questions n°2 et 3)

Concernant l'efficacité de la dégradation des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables, il existe de nombreuses normes de spécification ou d'essai encadrant l'évaluation du caractère biodégradable des matériaux en fonction du processus de fin de vie envisagé (plus de 50 normes, cf. chapitre 4.9). La multiplicité de ces normes peut être source de confusion pour leurs utilisateurs, ainsi que pour les consommateurs, et peut les rendre difficiles d'application. Par ailleurs, il n'existe pas de norme traitant de tous les compartiments environnementaux (air, sol, eau douce et eau de mer). Le devenir des matières plastiques biodégradables dans l'environnement n'est donc pas complètement caractérisé puisque leur biodégradation n'est pas systématiquement évaluée dans tous ces compartiments. Enfin, la biodégradation des matières plastiques concerne l'ensemble des constituants, à savoir les polymères, les monomères résiduels, les additifs et les charges organiques, ce pour chaque formulation de matière plastique.

Les deux normes de compostage les plus utilisées, et citées dans le texte de la saisine, ont été particulièrement étudiées par le GT : la norme européenne NF EN 13432:2000 utilisée pour le compostage industriel des emballages et la norme française NF T51-800:2015 pour le compostage domestique des matières plastiques. La mise en œuvre de ces normes est d'application volontaire.

Les normes de compostage NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 présentent de grandes similarités en termes de seuils de performances à atteindre mais également des différences. En effet, les critères de test et d'acceptabilité requis dans la norme NF T51-800:2015 présentent des caractères plus contraignants que ceux de la norme NF EN 13432:2000 (température d'essai, recherche de métaux, de perturbateurs endocriniens (PE), de CMR et SVHC).

Ces normes sont fondées sur des expérimentations dans des conditions d'essai de laboratoire (caractérisation, biodégradation, désintégration, écotoxicité). Toutefois, il est très probable qu'un particulier ne pourra pas appliquer l'ensemble des conditions indiquées dans le protocole pour un compostage domestique. Ainsi, le GT doute que la conformité à la norme garantisse la biodégradation satisfaisante d'un produit en compostage domestique. *A contrario*, il est possible d'envisager la réalisation de contrôles par les autorités au regard de la norme NF EN 13432:2000 (compostage en conditions industrielles) si celle-ci était rendue obligatoire pour toutes les matières plastiques revendiquées biodégradables. Une traçabilité relative à la fin de vie de ces matériaux pourrait alors être garantie par la mise en place car elle implique la réalisation d'une collecte et d'une mise en place d'une filière de traitement.

Pour toute matière plastique biodégradable, dès lors que le compostage est envisagé, les résidus de ces matériaux seront voués à être ré-introduits dans l'environnement *via* les amendements organiques.

Les deux normes de compostage imposent un seuil de biodégradation d'au moins 90 % après 6 mois de test. Toutefois, il existe encore des incertitudes sur la fraction résiduelle

(potentiellement jusqu'à 10% de la matière initiale), au sujet de laquelle il n'existe aucune préconisation d'évaluation de l'impact environnemental ou sur la santé humaine. Le GT tient à préciser que les particuliers eux-mêmes peuvent être amenés à utiliser leur compost domestique comme amendement organique. De ce fait, une biodégradation incomplète pourrait entraîner la dissémination, voire l'accumulation de substances indésirables pour l'environnement et, par conséquent, l'exposition du consommateur. De même, pour les matières organiques résiduelles pouvant être traitées par méthanisation, aucune norme de spécification n'existe concernant les résidus de ce traitement.

Les sacs en matières plastiques sont considérés conformes à la loi AGEC dès lors qu'ils répondent aux exigences de la norme française homologuée relative aux spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique (NFT 51-800 2015), ou toute norme présentant des garanties équivalentes.

Comme tout matériau plastique, lors de son usage ou de son vieillissement et, *a fortiori*, lors d'un compostage en conditions industrielles ou domestiques, un matériau plastique biosourcé et biodégradable est susceptible de générer des microplastiques. Les conditions d'essai lors des compostages en conditions industrielles ou domestiques ne garantissent pas l'absence de fuites de substances, de macroplastiques et/ou de microplastiques dans l'environnement. Là encore, le GT note l'absence d'évaluation spécifique de ces matériaux dans tous les compartiments de l'environnement (eau douce, eau de mer, sol et air). De plus, la thématique « microplastiques » n'est pas considérée dans sa globalité par les normes NF EN 13432:2000 et NF T51-800:2015 puisqu'aucun contrôle n'est effectué sur les particules de plastique de taille inférieure à 2 mm pouvant être générées après 3 mois de compostage.

Concernant la biodégradation des substances (monomères, additifs et charges organiques), les industriels doivent se référer aux exigences listées dans le règlement REACH. Concernant les charges inorganiques, celles-ci ne sont pas soumises à une évaluation de leur persistance dans le cadre du règlement REACH.

Le GT recommande :

- **aux industriels :**
 - de n'utiliser que des additifs et charges organiques biodégradables selon le test OCDE 301 : Biodégradabilité facile (OCDE, 2013) ;
 - dans le cas particulier des matériaux compostables uniquement en conditions industrielles, comme le poly(acide lactique) (PLA), d'indiquer la présence de ces matériaux dans la formulation du produit fini (par exemple par un numéro avec un ruban de Möbius) ;
 - de mettre à jour la norme NF EN 13432:2000 et d'inclure les spécifications les plus contraignantes de la norme NF T51-800:2015, à savoir la recherche de certains métaux lourds, de perturbateurs endocriniens et de substances SVHC ;
 - de mener des tests de biodégradation spécifiques à chaque compartiment environnemental sur l'ensemble des matériaux revendiqués biodégradables. Pour cela, le développement de normes de spécification pour l'eau douce, l'eau de mer et le sol est nécessaire. Dans le même esprit, une norme de spécification pour la démonstration d'une biodégradation en méthanisation est souhaitable ;
 - de réaliser des tests d'écotoxicité chronique dans chacun des compartiments environnementaux (air, sol, eau douce et eau de mer) ;
 - d'optimiser le procédé de fabrication des andains (par exemple recouvrement par du branchage pour limiter les envols de sacs plastiques) dans le but de limiter la

- dispersion dans l'environnement de macro- ou microplastiques issus de matières plastiques biodégradables lors d'un compostage industriel ;
- que les metteurs sur marché considèrent l'opportunité de solutions alternatives de gestion de ces matières plastiques arrivées en fin de vie comme le recyclage, la méthanisation ou l'enfouissement (ex. circuits de collecte spécifiques, etc.).
- **aux pouvoirs publics :**
 - de modifier la réglementation afin que toute allusion voire incitation à l'insertion de matières plastiques dans un compost domestique soit interdite ;
 - de manière plus générale, de sensibiliser la population à ne pas introduire de matières plastiques, même libellées biodégradables, dans les composts domestiques ;
 - de s'assurer qu'après usage, la collecte, le tri et/ou le traitement des matières plastiques biodégradables et biosourcées soient effectifs afin de mettre en cohérence leur mise sur le marché et leur fin de vie revendiquée ;
 - qu'une évaluation de chaque matière plastique biodégradable et biosourcée qui revendique une fin de vie générant une matière fertilisante et un support de culture (MFSC) soit conduite au titre d'une autorisation de mise sur le marché. Cette recommandation est étendue aux films agricoles biodégradables qui retournent au sol sans autre traitement ;
 - de limiter le référencement à un nombre restreint de normes dans la réglementation (par exemple norme de spécification NF EN 13432:2000 mise à jour), dans le but de simplifier la lisibilité des textes réglementaires et d'imposer le respect d'obligations spécifiques (par exemple critères de biodégradation) ;
 - concernant la norme NF EN 13432:2000 (compostage industriel pour les emballages) :
 - de rendre cette norme d'application obligatoire pour toute matière plastique revendiquée biodégradable avant sa mise sur le marché par un industriel ;
 - d'étendre le périmètre de cette norme à l'ensemble des produits/articles en matières plastiques biodégradables et biosourcées et ne pas la restreindre au secteur de l'emballage ;
 - que seuls les matériaux répondant aux exigences des futures normes modifiées prenant en compte l'impact du procédé de compostage dans l'ensemble des compartiments de l'environnement (voir recommandations ci-dessus) puissent être autorisés en compostage industriel. Les matériaux répondant aux exigences devraient être marqués d'un ruban de Möbius et d'un numéro spécifique, afin de s'assurer que ces matériaux soient orientés vers les centres industriels de tri sélectif, puis vers les installations de compostage.

8.3 Effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux (question n°4)

Concernant les effets potentiels sur la santé humaine en cas d'ingestion de matières plastiques ou de microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux, le GT souligne le manque d'informations relatives aux risques encourus suite à l'ingestion des matières

plastiques biosourcées et biodégradables, comme pour toutes les matières plastiques. Cependant, certaines informations relatives aux dangers de quelques constituants des matières plastiques (monomères, additifs) figurent dans les dossiers d'enregistrement déposés par les industriels en fonction des usages revendiqués et imposés par les réglementations en vigueur (MCDA et REACH/CLP).

Quel que soit le mode de compostage, les matières plastiques biodégradables vont induire la présence de microplastiques dans ces composts suite à leur désintégration. La diffusion de micro- ou nanoplastiques dans l'environnement est aujourd'hui avérée entraînant une exposition de l'Homme (Anses, 2020). Toutefois, il n'existe pas de données dans le cas particulier des matières plastiques biodégradables et biosourcées. Cette libération participerait aujourd'hui à une dissémination dans l'environnement de micro- ou nanoplastiques et à terme, à une pollution environnementale globale.

Ainsi, le GT recommande :

- **aux industriels** de ne pas intégrer dans la formulation des matières plastiques biosourcées et biodégradables des substances CMR de catégories 1A, 1B et 2, STOT RE²⁹ 1 et 2, PBT³⁰, SVHC, vPvB³¹, PMT³² et PE ;
- **aux pouvoirs publics** de réviser les normes existantes en intégrant la problématique des microplastiques sur l'ensemble de la gamme de taille retenue³³ par le GT.

Date de validation du rapport d'expertise collective par le groupe de travail et par le comité d'experts spécialisé : 8 juillet 2022

²⁹ Toxicité spécifique pour certains organes cibles à la suite d'une exposition répétée

³⁰ Persistante, bioaccumulable et toxique

³¹ Très persistante et très bioaccumulable

³² Persistante, mobile et toxique

³³ de 1 µm à 5 mm.

9 Bibliographie

- **Sources** : Scopus ou Pubmed, autres
- **Date de début** : **Date de fin** : Avril 2022

9.1 Publications

Abe MM, Martins JR, Sanvezzo PB, Macedo JV, Branciforti MC, Halley P, Botaro VR, Brienzo M. (2021). Advantages and disadvantages of bioplastics production from starch and lignocellulosic components.

Abotbina W, Sapuan SM, Sultan MTH, Alkibir MFM, Ilyas RA. (2021). Development and characterization of cornstarch-based bioplastics packaging film using a combination of different plasticizers. *Polymers (Basel)*. 2021 Oct 11;13(20):3487.

Acquah C, Zhang Y, Dubé MA, Udenigwe CC. (2020). Formation and characterization of protein-based films from yellow pea (*Pisum sativum*) protein isolate and concentrate for edible applications. *Curr Res Food Sci*. 2019 Dec 14;2:61-69.

Acquavia MA, Pascale R, Martelli G, Bondoni M, Bianco G. (2021). Natural polymeric materials: A solution to plastic pollution from the agro-food sector. *Polymers (Basel)*. 2021 Jan 4;13(1):158.

ADEME. (2020a). Revue des normes sur la biodégradabilité des plastiques. Synthèse. 34p.

ADEME (2020b). Revue des normes sur la biodégradabilité des plastiques – Rapport. 111p.

ADIVALOR. (2021). Rapport d'activités 2020. 32p. Disponible sur www.adivalor.fr.

Almeida ACDA, Pontes JGM, Alvarenga GR, Finocchio H, Fill TP. (2021). The sustainable cycle of a new cacao-based bioplastic: From manufacturing to exploitable biodegradation products. *RSC Advances* 2021 Sep 8;11(48): 29976-29985.

Anses. (2020). « Les microplastiques, un risque pour l'environnement et la santé ». <https://www.anses.fr/fr/content/les-microplastiques-un-risque-pour-l%E2%80%99environnement-et-la-sant%C3%A9>

Avérous L. (2013). Les polymères biodégradables et biosourcés. Des matériaux pour un futur durable. *L'actualité chimique* 2013 Juin-Juillet-Août ;n° 375-376.

Babaei-Ghazvini A, Acharya B, Korber DR. (2021). Antimicrobial biodegradable food packaging based on chitosan and metal/metal-oxide bio-nanocomposites: A review. *Polymers (Basel)*. 2021 Aug 19;13(16):2790.

Baghi F, Gharsallaoui A, Dumas E, Ghnimi S. (2022). Advancements in Biodegradable Active Films for Food Packaging: Effects of Nano/Microcapsule Incorporation. *Foods*. 2022 Mar 6;11(5):760.

Báreková A, Demovičová M, Tátošová L, Danišová L, Medlenová E, Hlaváčiková S. (2021). Decomposition of Single-use Products Made of Bioplastic under Real Conditions of Urban Composting Facility. *J. Ecol. Eng*. 2021;22(4):265-272.

Bari E, Sistani A, Morrell JJ, Pizzi A, Akbari MR, Ribera J. (2021). Current strategies for the production of sustainable biopolymer composites. *Polymers (Basel)*. 2021 Aug 27;13(17):2878.

- Barra A, Santos JDC, Silva MRF, Nunes C, Ruiz-Hitzky E, Gonçalves I, Yildirim S, Ferreira P, Marques PAAP. (2020). Graphene derivatives in biopolymer-based composites for food packaging applications. *Nanomaterials* (Basel). 2020 Oct 21;10(10):2077.
- Bayram B, et al Ozkan G, Kostka T, Capanoglu E, Esatbeyoglu T. (2021). Valorization and application of fruit and vegetable wastes and by-products for food packaging materials. *Molecules*. 2021 Jul 1;26(13) :4031..
- Beaurepaire M, Dris R, Gasperi J, Tassin B. (2021). Microplastics in the atmospheric compartment: a comprehensive review on methods, results on occurrence and determining factors. *Current Opinion in Food Science* 2021 october;41: 159-168.
- Bejagam KK, Gupta NS, Lee KS, Iverson CN, Marrone BL, Paliana G. (2022). Predicting the Mechanical Response of Polyhydroxyalkanoate Biopolymers Using Molecular Dynamics Simulations. *Polymers* (Basel). 2022 Jan 17;14(2):345.
- Blunt W, Levin DB, Cicek N. (2018). Bioreactor operating strategies for improved polyhydroxyalkanoate (PHA) productivity. *Polymers* (Basel). 2018 Oct 26;10(11):1197
- Boey JY, Mohamad L, Khok YS, Tay GS, Baidurah S. (2021). A review of the applications and biodegradation of polyhydroxyalkanoates and poly(Lactic acid) and its composites. *Polymers* (Basel). 2021 May 12;13(10):1544.
- Borowicz M, Paciorek-Sadowska J, Isbrandt M, Grzybowski Ł, Czupryński B. (2019). Glycerolysis of poly(lactic acid) as a way to extend the "life cycle" of this material. *Polymers* (Basel). 2019 Nov 29;11(12):1963.
- Brojanigo S, Parro E, Cazzorla T, Favaro L, Basaglia M, Casella S. (2020). Conversion of starchy waste streams into polyhydroxyalkanoates using *Cupriavidus necator* DSM 545. *Polymers* (Basel). 2020 Jul 4;12(7):1496.
- Campanale C, Massarelli C, Savino I, Locaputo V, Uricchio VF. (2019). Review: A Detailed Review Study on Potential Effects of Microplastics and Additives of Concern on Human Health. *J. Environ. Res. Public Health*. 2020 Feb 13;17(4):1212.
- Chaos A, Sangroniz A, Gonzalez A, Iriarte M, Sarasua JR, del Río J, Etxeberria A.. (2019). Tributyl citrate as an effective plasticizer for biodegradable polymers: effect of plasticizer on free volume and transport and mechanical properties. *Polymer International* 68(1):125-133.
- Chausali N, Saxena J, Pasad R. (2022). Recent trends in nanotechnology applications of bio-based packaging. *Journal of Agriculture and Food Research* March 2022;7:100257.
- Chen J, Li K, Wang Y, Huang J, Nie X, Jiang J. (2017). Synthesis and properties of a novel environmental epoxidized glycidyl ester of ricinoleic acetic ester plasticizer for poly(vinyl chloride). *Polymers* (Basel). 2017 Nov 29;9(12):640.
- Chouchene K, Ksibi M. (2021). Microplastics as an emerging hazard to terrestrial and marine ecosystems: Sources, Occurrence and Analytical Methods. *E3S Web of Conferences* 2021;265:05003.
- Čolnik M, Hrcic MK, Škerget J, Knez Ž. (2020). Biodegradable polymers, current trends of research and their applications, a review. *Chem. Ind. Chem. Eng. Q.* May 2020;26(4):401-418.
- EPA. (2021). EPA's Microplastic Beach Protocol. A Community Science Protocol for Sampling Microplastic Pollution. September 2021. Disponible sur https://www.epa.gov/system/files/documents/2021-09/microplastic-beach-protocol_sept-2021.pdf

- David G, Michel J, Gastaldi E, Gontard N, Angellier-Coussy H. (2020). How vine shoots as fillers impact the biodegradation of PHBV-based composites. *Int. J. Mol. Sci.* 2018 Dec 28;21(1):288.
- Díaz-Galindo EP, Nesic A, Cabrera-Barjas G, Dublan-García O, Ventura-Aguilar RI, Vázquez-Armenta FJ, Aguilar-Montes de Oca S, Mardones C, Ayala-Zavala JF. (2020). Physico-chemical and antiadhesive properties of poly(Lactic acid)/grapevine cane extract films against food pathogenic microorganisms. *Polymers (Basel)*. 2020 Dec 12;12(12):2967.
- Dominguez-Candela I, Garcia-Garcia D, Perez-Nakai A, Lerma-Canto A, Lora J, Fombuena V. (2021). Contribution to a circular economy model: From lignocellulosic wastes from the extraction of vegetable oils to the development of a new composite. *Polymers (Basel)*. 2021 Jul 10;13(14):2269.
- Duquenne P, Battais P. (2020). Compostage et méthanisation des déchets : une polyexposition à prendre en compte. *Hygiène et sécurité du travail* 2020 dec ;261(31) :51-60.
- Enfrin M, Dumée LF, Lee J. (2019). Nano/microplastics in water and wastewater treatment processes – Origin, impact and potential solutions. *Water Res.* 2019 Sep 15;161:621-638.
- Fei X, Wang J, Zhang X, Jia Z, Jiang Y, Liu X. (2022). Recent Progress on Bio-Based Polyesters Derived from 2,5-Furandicarboxylic Acid (FDCA). *Polymers (Basel)*. 2022 Feb 6;14(3):625.
- Ferreira-Filipe DA, Paço A, Duarte AC, Rocha-Santos T, Patrício Silva AL. (2021). Are biobased plastics green alternatives?—a critical review. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Jul 21;18(15):7729.
- Fini JB. (2021). La pollution invisible des plastiques. *Pour la Science*. 2021 Sep;524:52-59.
- Folino A, Karageorgiou A, Calabrò PS, Komilis D. (2020). Biodegradation of wasted bioplastics in natural and industrial environments: A review. *Sustainability* 2020 June;12(15):6030.
- Francioni M, Kishimoto-Mo AW, Tsuboi S, Hoshino YT. (2021). Evaluation of the mulch films biodegradation in soil: a methodological review. *Italian Journal of Agronomy*. November 2021. DOI:10.4081/ija.2021.1936. Project: Effect of agricultural management practices on the degradation rates of biodegradable mulch films in soil
- Frias J, Nash R. Microplastics: Finding a consensus on the definition. *Mar Pollut Bull*. 2019;138:145–7.
- Frone AN, Batalu D, Chiulan I, Oprea M, Raluca Gabor A, Nicolae CA, Raditoiu V, Trusca R, Panaitescu DM. (2020). Morpho-structural, thermal and mechanical properties of PLA/PHB/Cellulose biodegradable nanocomposites obtained by compression molding, extrusion, and 3d printing. *Nanomaterials* 2020 Dec, 10(1), 51.
- Galera Manzano LM, Ruz Cruz MA, Tun NMM, Valadez González A, Hernandez JHM (2021). Effect of cellulose and cellulose nanocrystal contents on the biodegradation, under composting conditions, of hierarchical pla biocomposites. *Polymers (Basel)*. 2021 Jun; 13(11): 1855.
- García G, Sosa-Hernández JE, Rodas-Zuluaga LI, Castillo-Zacarías C, Iqbal H, Parra-Saldívar R. (2021). Accumulation of PHA in the microalgae *scenedesmus* sp. Under nutrient-deficient conditions. *Polymers (Basel)*. 2020 Dec 30;13(1):131.
- Grosvenor EC, Hughes JC, Stanfield CW, Blanchard RL, Fox A, Mihok OL, Lee K, Brodsky JR, Hoy A, Uniyal A, Whitaker SM, Acha C, Gibson K, Ding L, Lewis CA, González López L, Wentz CM, Sita LR, Al-Sheikhly M. (2022). On the Mechanism of Electron Beam Radiation-Induced Modification of Poly(lactic acid) for Applications in Biodegradable Food Packaging. *App Sc.* 2022 Feb 10;12(4):18119.

- Havstad MR, Juroš L, Katančić Z, Pilipović A. (2021). Influence of home composting on tensile properties of commercial biodegradable plastic films. *Polymers (Basel)*. 2021 Aug; 13(16): 2785.
- Hernández-García E, Vargas M, González-Martínez C, Chiralt A. (2021). Biodegradable antimicrobial films for food packaging: Effect of antimicrobials on degradation. *Foods* 2021 Jun 1;10(6):1256.
- Hu H, Zhang R, Kong Z, Wang K, Ying WB, Wang J, Zhua J. (2019). Bio-based poly(butylene furandicarboxylate)-b-poly(ethylene glycol) copolymers: The effect of poly(ethylene glycol) molecular weight on thermal properties and hydrolysis degradation behavior. *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* 2019 oct;2(4):167-177.
- Hu K. (2020). Bio-based aromatic copolyesters: Influence of chemical Microstructures on thermal and crystalline properties. *Polymers (Basel)*. 2020 Apr 5;12(4):829.
- Huamán-Castilla NL, Allcca-Alca, E. E., Allcca-Alca, G.J., Quispe-Pérez, M. L. (2021). Biopolymers produced by *Azotobacter*: Synthesis and production, physicomechanical properties, and potential industrial applications. *Scientia Agropecuaria* 12(3): 369-377.
- INERIS. (2018). Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : Microplastiques. DRC-18-158744-01541A, 32p Disponible sur https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/FTE_Microplastiques_VF.pdf.
- INRS. (2010). Approche des risques chimiques et microbiologiques dans le secteur du compostage. INRS Hygiène et sécurité au travail 4^{ème} trimestre 2010 – ND 2336-221-10. 14p.
- Jeremic S, Milovanovic J, Mojicevic M, Bogojevic SS, Nikodinovic-Runic J. (2020). Understanding bioplastic materials - Current state and trends. *J Serb Chem Soc*. 2020;85(12): 1507-1538.
- Jia P, Xia H, Tang K, Zhou Y. (2018). Plasticizers derived from biomass resources: A short review. *Polymers (Basel)*. 2018 Nov 24;10(12):1303.
- Kato LS, Conte-Junior C-A. (2021). "Safety of plastic food packaging: The challenges about non-intentionally added substances (NIAS) discovery, identification and risk assessment. *Polymers (Basel)*. 2021 Jun 24;13(13):2077.
- Koller M. (2018). Chemical and biochemical engineering approaches in manufacturing polyhydroxyalkanoate (PHA) biopolyesters of tailored structure with focus on the diversity of building blocks. *Chem Biochem Eng Q*. 2020 Nov ;32(4): 413-438.
- Koller M, Mukherjee A. (2020). Polyhydroxyalkanoates - Linking properties, applications, and end-of-life options." *Chem Biochem Eng Q*. 2020 Jan;34(3): 115-129.
- Leconte S. (2010). État de l'art sur les bioplastiques. Institut Supérieur de Plasturgie d'Alençon. Mars 2010. Disponible sur <https://docplayer.fr/33054071-Etat-de-l-art-sur-les-bioplastiques.html>
- Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques. Ligne Directrice n° 208: Essai sur plante terrestre : essai d'émergence de plantules et de croissance de plantules. Adoptée : 19 juillet 2006 ; corrigée : 14 juin 2021. <https://doi.org/10.1787/9789264070073-fr> 9789264070073 (PDF)
- Liyanage S, Acharya S, Parajuli P, Shamshina JL, Abidi N (2021). Production and surface modification of cellulose bioproducts. *Polymers (Basel)*. 2021 Oct 7;13(19):3433.
- Mahmud N, Islam J, Tahergorabi R. (2021). Marine biopolymers: Applications in food packaging. *Processes* 2021 Dec;9(12):2245.

- Maraveas C. (2020). Environmental sustainability of plastic in agriculture. *Agriculture* 2020 July;10(8):310.
- Maraveas C. (2020). Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. *Polymers (Basel)*. 2020 May 14;12(5):1127.
- Mazhandu ZS, Muzenda E, Mamvura TA, Belaid M, Nhubu T. (2020). Integrated and consolidated review of plastic waste management and bio-based biodegradable plastics: Challenges and opportunities. *Sustainability* 2020 Oct 12;12(20):8360.
- Melchor-Martínez, E. M., et al. (2022). "Towards a Circular Economy of Plastics: An Evaluation of the Systematic Transition to a New Generation of Bioplastics." *Polymers* 14(6).
- Melendez-Rodriguez B, M'Bengue MS, Torres-Giner S, Cabedo L, Prieto C, Lagarona JM. (2021). Barrier biopaper multilayers obtained by impregnation of electrospun poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) with protein and polysaccharide hydrocolloids. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications* 2021 Dec 25;2:100150.
- Mroczkowska M, Germaine K, Culliton D, Duarte TK, Cunha Neves A. (2021). Assessment of biodegradation and eco-toxic properties of novel starch and gelatine blend bioplastics. *Recycling* 2021 Dec 16;6(4):81.
- Nakanishi A, Iritani K, Sakihama Y, Watanabe M, Mochiduki A, Tsuruta A, Sakamoto A, Ota A. (2021). Fabrication and biodegradability of starch cell-plastics as recyclable resources. *App Sci*. 2021 Jan 18;11(2):847.
- Narancic T, Cerrone F, Beagan N, O'Connor KE. (2020). Recent advances in bioplastics: Application and biodegradation. *Polymers (Basel)*. 2020 Apr 15;12(4):920.
- OCDE. (2013). Essai n° 301: Biodégradabilité facile, Lignes directrices de l'OCDE pour les essais de produits chimiques, Section 3, Éditions OCDE, Paris.
- Peregrina A, Martins-Lourenço J, Freitas F, Reis MAM, Arraiano CM. (2021). Post-transcriptional control in the regulation of polyhydroxyalkanoates synthesis. *Life (Basel)*. 2021 Aug 20;11(8):853.
- Plastics Europe. (2022). *Plastics - the Facts. 2021. An analysis of European plastics production, demand and waste data.* Disponible sur <https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2021/12/Plastics-the-Facts-2021-web-final.pdf>.
- Platnieks O, Gaidukovs S, Barkane A, Sereda A, Gaidukova G, Grase L, Thakur VK, Filipova I, Fridrihsone V, Skute M, Laka M. (2020). Bio-based poly(butylene succinate)/microcrystalline cellulose/nanofibrillated cellulose-based sustainable polymer composites: Thermo-mechanical and biodegradation studies. *Polymers (Basel)*. 2020 Jun 30;12(7):1472.
- Quecholac-Piña X, Del Consuelo Hernández-Berriel M, Del Consuelo Mañón-Salas M, Espinosa-Valdemar RM, Vázquez-Morillas A. (2020). Degradation of plastics under anaerobic conditions: A short review. *Polymers (Basel)*. 2020 Jan 5;12(1):109.
- Raza AZ, Abida S, Banatb IM. (2018). Polyhydroxyalkanoates: Characteristics, production, recent developments and applications. *International Biodeterioration & Biodegradation* 2018 Jan;126:45-56.
- Rezvani Ghomi E, Khosravi F, Saedi Ardahaei A, Dai Y, Neisiany RE, Foroughi F, Wu M, Das O, Ramakrishna S. (2021). The life cycle assessment for polylactic acid (PLA) to make it a low-carbon material. *Polymers (Basel)*. 2021 Jun 2;13(11):1854.
- Rojas-Bringas PM, De-la-Torre GE, Torres FG. (2021). Influence of the source of starch and plasticizers on the environmental burden of starch-Brazil nut fiber biocomposite production: A life cycle assessment approach. *Sci Total Environ*. 2021 May 15;769:144869.

- Salwa HN, Sapuan SM, Mastura MT, Zuhri MYM. (2020). Life cycle assessment of sugar palm fiber reinforced-sago biopolymer composite takeout food container. *Appl Sci.* 2020 Nov 10;10(22):1-21.
- Santolin L, Waldburger S, Neubauer P, Riedel SL. (2021). Substrate-Flexible Two-Stage Fed-Batch Cultivations for the Production of the PHA Copolymer P(HB-co-HHx) With *Cupriavidus necator* Re2058/pCB113. *Front Bioeng Biotechnol.* 2021 Mar 22;9:623890..
- Shafqat A, Al-Zaqri N, Tahir A, Alsalmeh A. (2021). Synthesis and characterization of starch based bioplastics using varying plant-based ingredients, plasticizers and natural fillers. *Saudi J Biol Sci.* 2021 Mar;28(3):1739-1749.
- Silva FAGS, Dourado F, Gama M, Poças F. (2020). Nanocellulose bio-based composites for food packaging. *Nanomaterials (Basel).* 2020 Oct 16;10(10):2041.
- Sousa AMM, Souza HKS, Liu LS, Gonçalves MP. (2015). Alternative plasticizers for the production of thermo-compressed agar films. *International Journal of Biological Macromolecules* 2015 May;76:138-145.
- Tan, W. A., et al. (2019). "Bioprospecting of polyhydroxyalkanoates-producing bacteria from Indonesian marine environment." *Biodiversitas* 20(5): 1309-1315
- Tan SX, Andriyana A, Ong HC, Lim S, Pang YL, Ngoh GC. (2022). A Comprehensive Review on the Emerging Roles of Nanofillers and Plasticizers towards Sustainable Starch-Based Bioplastic Fabrication. *Polymers* 2022 Feb 10;14(4), 664
- Teixeira-Costa BE, Andrade CT.(2021). Chitosan as a valuable biomolecule from seafood industry waste in the design of green food packaging. *Biomolecules.* 2021 Oct 28;11(11):1599.
- Uzun P, Farazande S, Guven B. (2022). Mathematical modeling of microplastic abundance, distribution, and transport in water environments: A review. *Chemosphere.* 2022 Feb;288(Pt 2):132517.
- Velázquez-Contreras F, García-Calderá N, Padilla de la Rosa JD, Martínez-Romero D, Núñez-Delgado E, Gabaldón JA. (2021). Effect of PLA active packaging containing monoterpenecyclodextrin complexes on berries preservation. *Polymers (Basel).* 2021 Apr 26;13(9):1399. doi
- Vigneswari S, Noor MSM, Amelia TSM, Balakrishnan K, Adnan A, Bhubalan K, Amirul AA, Ramakrishna S. (2021). Recent advances in the biosynthesis of polyhydroxyalkanoates from lignocellulosic feedstocks. *Life (Basel).* 2021 Aug 10;11(8):807.
- Xi Y, Man YB, Wong MH, Owen RB, Chow KL. (2022). Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. *Sci Total Environ.* 2022 Jun 15;825:154025.
- Yang X, Man YB, Wong MH, Owen RB, Chow KL. (2022). Environmental health impacts of microplastics exposure on structural organization levels in the human body. *Sci Total Environ.* 2022 Jun 15;825:154025.
- Yee MS-L, Hii L-W, Looi CK, Lim W-M, Wong S-F, Kok Y-Y, Tan B-K, Wong C-Y, Leong C-O. (2021). Impact of Microplastics and Nanoplastics on Human Health. *Nanomaterials* 2021 Feb 16;11(2):496.
- Yusuf A, Sodiq A, Giwa A, Eke J, Pikuda O, Eniola JO, Ajiwokewu B, Sambudi NS, BiladMR, (2022). Updated review on microplastics in water, their occurrence, detection, measurement, environmental pollution, and the need for regulatory standards. *Environ Pollut.* 2022 Jan 1;292(Pt B):118421.

Zahiruddin SMM, Othman SH, Tawakkal ISMA, Talib RA. (2019). Mechanical and thermal properties of tapioca starch films plasticized with glycerol and sorbitol. Food Research 2019 Apr;3(2):157-163.

Zhang M, Ma XN, Li CT, Zhao D, Xing YL, Qiud JH. (2017). A correlation between the degradability of poly(butylene succinate)-based copolyesters and catalytic behavior with *Candida antarctica* lipase B. RSC Advances 2017 May;7: 43052-43063.

Zweifel H. (January 1, 2001). Plastics Additives Handbook, 5th ed. ISBN: 1-56990-295-X. Hardcover: 1148 p.

9.2 Normes

Normes de spécifications :

AFNOR 2000. NF EN 13432. Emballage - Exigences relatives aux emballages valorisables par compostage et biodégradation - Programme d'essai et critères d'évaluation de l'acceptation finale des emballages.

AFNOR 2005. NF U 52-001 : Matériaux biodégradables pour l'agriculture et l'horticulture - Produits de paillage - Exigences et méthodes d'essai.

AFNOR 2007. NF EN 14995. Matières plastiques - Évaluation de la compostabilité - Programme d'essais et spécifications.

AFNOR 2014. NF EN 16575. Produits biosourcés – Vocabulaire.

AFNOR 2015. NF EN 16760. Produits biosourcés - Analyse du cycle de vie.

AFNOR 2015. NF T51-800. Plastiques — Spécifications pour les plastiques aptes au compostage domestique.

AFNOR 2016. NF EN 16785-1. Janvier 2016. Produits biosourcés - Teneur biosourcée - Partie 1 : détermination de la teneur biosourcée par une analyse au radiocarbone et une analyse élémentaire.

AFNOR 2017. NF EN 16640:2017. Produits biosourcés - Teneur en carbone biosourcé - Détermination de la teneur en carbone biosourcé par la méthode au radiocarbone.

AFNOR 2018. NF EN 16785-2. Produits biosourcés - Teneur biosourcée - Partie 2 : détermination de la teneur biosourcée à l'aide de la méthode basée sur le bilan-matières.

NF EN 17033 :2018. Plastiques - Films de paillage biodégradables thermoplastiques pour utilisation en agriculture et horticulture - Exigences et méthodes d'essai

ISO 472:2013. Février 2013. Plastiques – Vocabulaire.

ISO 16620-4:2016. Décembre 2016. Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 4 : Détermination de la teneur en masse biosourcée.

ISO 16620-2:2019. Octobre 2019. Plastiques - Teneur biosourcée - Partie 2: Détermination de la teneur en carbone biosourcé

ISO 22403:2020 Avril 2020. Plastiques - Évaluation de la biodégradabilité intrinsèque des matériaux exposés à des inoculums marins dans des conditions de laboratoire aérobies mésophiles - Méthodes d'essai et exigences.

ISO 17088:2021 Avril 2021. Plastiques - Recyclage organique - Spécifications pour les plastiques compostables.

Normes de biodégradation

AFNOR 2003. NF EN 14046 : Emballage - Évaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux d'emballage dans des conditions contrôlées de compostage - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré.

NF EN ISO 14855-1. Mars 2013. Évaluation de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques dans des conditions contrôlées de compostage - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré - Partie 1 : méthode générale.

NF EN ISO 14855-2. Août 2018. Détermination de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques dans des conditions contrôlées de compostage - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré - Partie 2 : mesurage gravimétrique du dioxyde de carbone libéré lors d'un essai de laboratoire.

AFNOR 2017. NF EN ISO 18830 : Plastiques - Détermination de la biodégradation aérobie des matières plastiques immergées à l'interface eau de mer/sédiments sableux - Méthode par mesurage de la demande en oxygène dans un respiromètre fermé.

AFNOR 2018. NF EN ISO 19679 (annulée) : Plastiques - Détermination de la biodégradation aérobie des matières plastiques non-flottantes à l'interface eau de mer/sédiments - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré.

AFNOR 2018. NF EN ISO 15985:2014. Plastiques - Évaluation de la biodégradation anaérobie ultime dans des conditions de digestion anaérobie à teneur élevée en solides - Méthode par analyse du biogaz libéré.

AFNOR 2018. NF EN 17033:2018. Plastiques - Films de paillage biodégradables thermoplastiques pour utilisation en agriculture et horticulture - Exigences et méthodes d'essai. Janvier 2018.

ASTM D5511-18: Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under High-Solids Anaerobic-Digestion Conditions.

ASTM D5526-18: Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials Under Accelerated Landfill Conditions.

ASTM D5538: Standard Practice for Thermoplastic Elastomers—Terminology and Abbreviations.

ASTM D5988-18: Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil.

ASTM D6002: ASTM-D6002 › Standard Guide for Assessing the Compostability of Environmentally Degradable Plastics (Withdrawn 2011)

ASTM D6691: Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in the Marine Environment by a Defined Microbial Consortium or Natural Sea Water Inoculum.

ISO (International Organization for Standardization). 2019. Plastiques - Évaluation de la biodégradabilité anaérobie ultime des matériaux plastiques dans des systèmes de digestion de boue contrôlés — Méthode par mesurage de la production de biogaz. ISO 13975:2019.

ISO (International Organization for Standardization). 2019 - Plastiques - Détermination de la biodégradation aérobie des matériaux non flottants exposés aux sédiments marins - Méthode par analyse du dioxyde de carbone libéré. ISO 22404:2019.

NF EN ISO 17556. Plastiques - Détermination de la biodégradabilité aérobie ultime des matériaux plastiques dans le sol par mesure de la demande en oxygène dans un respiromètre ou de la teneur en dioxyde de carbone libéré. Mai 2019.

ISO 23517 : 2021 : Plastiques - Matériaux biodégradables dans le sol pour les films de paillage pour utilisation en agriculture et horticulture - Exigences et méthodes d'essai concernant la biodégradation, l'écotoxicité et le contrôle des constituants. Juillet 2021.

Normes de désintégration

AFNOR 2003. NF EN 14045 : Emballage - Évaluation de la désintégration des matériaux d'emballage lors d'essais à usage pratique dans des conditions de compostage définies.

AFNOR 2016. NF EN ISO 20200 : Plastiques - Détermination du degré de désintégration de matériaux plastiques dans des conditions de compostage simulées lors d'un essai de laboratoire

AFNOR 2021. PR NF EN ISO 16929 : Plastiques - Détermination du degré de désintégration des matériaux plastiques dans des conditions de compostage définies lors d'un essai à échelle pilote.

ISO (International Organization for Standardization). 2020- Plastiques - Détermination du degré de désintégration des matériaux plastiques dans les habitats marins en conditions réelles. ISO 22766:2020.

Normes relatives à l'étude d'écotoxicité

AFNOR 2013. NF EN ISO 11269 – 1 Qualité du sol - Détermination des effets des polluants sur la flore du sol - Partie 1 : méthode de mesurage de l'inhibition de la croissance des racines

AFNOR 2013. NF EN ISO 11269 – 2 : Qualité du sol - Détermination des effets des polluants sur la flore du sol - Partie 2 : effets des sols contaminés sur l'émergence et la croissance des végétaux supérieurs.

9.3 Législation et réglementation

[Article L255-1 - Code rural et de la pêche maritime - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](#)

[Article L215-11 - Code rural et de la pêche maritime - Légifrance \(legifrance.gouv.fr\)](#)

Arrêté du 19 décembre 2012 relatif au contenu et aux conditions d'attribution du label « bâtiment biosourcé ». NOR : ETL1239803A. ELI : <https://www.legifrance.gouv.fr/eli/arrete/2012/12/19/ETLL1239803A/jo/texte>. JORF n°0299 du 23 décembre 2012. Texte n° 16.

Arrêté du 15 mars 2022 listant les emballages et déchets compostables, méthanisables et biodégradables pouvant faire l'objet d'une collecte conjointe avec des biodéchets ayant fait l'objet d'un tri à la source - Légifrance (legifrance.gouv.fr).

Journal officiel n°0297 du 22 décembre 2016 relatif au vocabulaire des matériaux et de l'environnement (liste de termes, expressions et définitions adoptés). NOR : CTNR1634792K. Texte n° 211. Disponible sur : <https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000033666742>

Règlement (CE) n° 1907/2006 du 18/12/06 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH), instituant une agence européenne des produits chimiques.

Règlement (UE) n° 10/2011 de la Commission du 14 janvier 2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires.
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:02011R0010-20200923&from=EN>

Règlement (CE) n° 1935/2004 du Parlement européen et du Conseil du 27 octobre 2004 concernant les matériaux et objets destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires et abrogeant les directives 80/590/CEE et 89/109/CEE.

Règlement (CE) no 834/2007 du Conseil du 28 juin 2007 relatif à la production biologique et à l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) no 2092/91 (JO L 189 du 20.7.2007, p. 1-23).

Règlement (CEE) n° 2092/91 du Conseil, du 24 juin 1991, concernant le mode de production biologique de produits agricoles et sa présentation sur les produits agricoles et les denrées alimentaires).

ANNEXES

Annexe 1 : Lettre de saisine



Direction générale
de la prévention des risques

La Défense, le 16 NOV. 2021

Le directeur général de la prévention des risques

Ref : BPREP-21-092

Monsieur le Directeur général
Agence Nationale de Sécurité Sanitaire de
l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail
14 rue Pierre et Marie Curie
94701 Maisons Alfort cedex

Objet : Saisine relative aux impacts sanitaires et environnementaux de certains usages de produits plastiques

La loi contre le gaspillage et pour une économie circulaire a été promulguée le 11 février 2020. Cette loi comprend plusieurs dispositions visant à prévenir l'impact de l'utilisation des plastiques sur la santé et l'environnement dont l'article 84. Cet article prévoit que le Gouvernement remette au Parlement un rapport sur les impacts sanitaires, environnementaux et sociétaux des plastiques biosourcés, biodégradables et compostables sur l'ensemble de leur cycle de vie. Ce rapport doit notamment aborder le risque de dispersion des microplastiques dans l'environnement lié au compostage des plastiques biosourcés, biodégradables et compostables. En effet, le Parlement a souhaité approfondir les impacts des plastiques biosourcés et biodégradables sur l'environnement, tels que les sacs plastiques biosourcés et compostables en compostage domestique.

Dans ce contexte, et en vue de répondre aux interrogations légitimes exprimées par le Parlement, je souhaite que vous remettiez un rapport sur les impacts sanitaires et environnementaux des matières plastiques biosourcées, biodégradables et compostables, en particulier :

- Étudier la composition des matières plastiques biosourcés et biodégradables ;
- Évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage domestique en lien avec la norme NF T 51-800 : 2015 ;
- Évaluer l'efficacité de la dégradation de ces matériaux plastiques en compostage industriel de ces matières plastiques, avec un focus sur la production éventuelle de microplastiques et leur dispersion dans l'environnement ;
- Identifier les effets potentiels liés à l'ingestion de ces matières plastiques et des microplastiques issus de la dégradation de ces matériaux.

Vous pourrez vous baser sur la bibliographie disponible et en fonction des délais, d'éventuelles auditions. Ce rapport pourra notamment s'appuyer sur les éléments suivants :

- Les travaux conduits par l'ADEME sur le comportement en conditions réelles de compostage (domestique et industriel) des sacs plastiques compostables¹ d'une part, et l'impact sur l'environnement de sacs plastiques destinés à l'emballage de fruits et légumes² d'autre part ;
- La note de l'Agence européenne de l'environnement sur les plastiques compostables et biodégradables publiée en septembre 2020³.

Pour ces travaux, votre interlocuteur au sein de la DGPR est Cécile Fevre (cecile.fevre@developpement-durable.gouv.fr) au Bureau de la prévention et des filières à responsabilité élargie du producteur. Il serait utile que vos premières conclusions et propositions soient remises d'ici 6 mois.

Le directeur général
de la prévention des risques,

Cédric BOURILLET

¹ « Compostage domestique et industriel des sacs plastiques compostables domestiquement et des sacs en papier », ADEME, novembre 2019 (<https://www.ademe.fr/compostage-domestique-industriel-sacs-plastiques-compostables-domestiquement-sacs-papier>)

² « Analyse cycle de vie comparative de sacs destinés à l'emballage de marchandises au point de vente autre que les sacs de caisse », ADEME, novembre 2019 (<https://www.ademe.fr/compostage-domestique-industriel-sacs-plastiques-compostables-domestiquement-sacs-papier>)

³ <https://www.eea.europa.eu/publications/biodegradable-and-compostable-plastics>

Annexe 2 : Recherche bibliographique

La requête bibliographique débute par l'identification de mots-clés et la formalisation d'une stratégie de recherche. Elle s'appuie notamment sur une traduction des paramètres de la structure PECO comme suit avec les mots clés suivants :

PECO

Thématique	Mots-clés issus de thésaurus
(P) Population (ou sujets étudiés)	Consumer, Human
(E) Exposition : Facteur d'exposition de la population	Bioplastics, conventional plastics Ingestion
(C) Comparateur scénario de référence contre lequel la population exposée est comparée	Exposed consumer vs non exposed consumers exposed by ingestion via oral exposure
(O) Outcome (résultat d'intérêt événement mesuré, critère de jugement. Ex : mortalité; effets sur la santé, effets psychosociaux, perceptions, résultats économiques)	All toxicity effects observed on consumer health, chemical composition

1- Recherche bibliographique pour la question 4 de la saisine

Date de la fin de la recherche bibliographique : avril 2022

Mots-clés

bioplastics, plastics , biodegradable, ingestion, toxicity ,human,consumer, chemical, composition, *in vitro*

Différentes requêtes ont été construites à partir des données SCOPUS et PUBMED afin de retenir les publications en lien avec la question 4 de la saisine.

C'est dans la base SCOPUS que 6 articles pertinents en lien avec la question sont retenues avec les mots clés suivants :

GENERAL

KEY (bioplastics) OR KEY (plastics) OR KEY (biodegradable) OR TITLE-ABS-KEY (ingestion) AND KEY (toxicity) AND TITLE-ABS-KEY (human) AND ABS (consumer) AND KEY (chemical) AND KEY (composition) AND KEY (in) AND (vitro)

Une deuxième requête en s'appuyant sur une référence citée « document related » [Benchmarking the in Vitro Toxicity and Chemical Composition of Plastic Consumer Products](#) [Zimmermann L.](#), [DierkesG.](#), [TernesT.A.](#), [Volker C.](#), [Wagner M.](#) (2019) *Environmental Science and Technology*, 53 (19) dans la recherche initiale ci-dessus a permis d'identifier 15325 publications, parmi lesquelles une troisième requête a été limitée aux 5 dernières années de 2017 à 2022 et à des domaines précis pour une meilleure spécificité de la recherche selon les mots -clés suivants :

LIMIT-TO (OA , "all") AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017))

AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CHEM") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "BIOC") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "PHAR") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "CENG"))

AND (LIMIT-TO (OA , "publisherfullgold"))

1812 publications ont été identifiées et 68 articles ont été retenus, sélectionnés sur titre et abstract. Cette recherche a été complétée par les experts avec 12 références supplémentaires.

Le nombre de références est rapporté à l'aide diagramme de flux suivant (Figure 14).

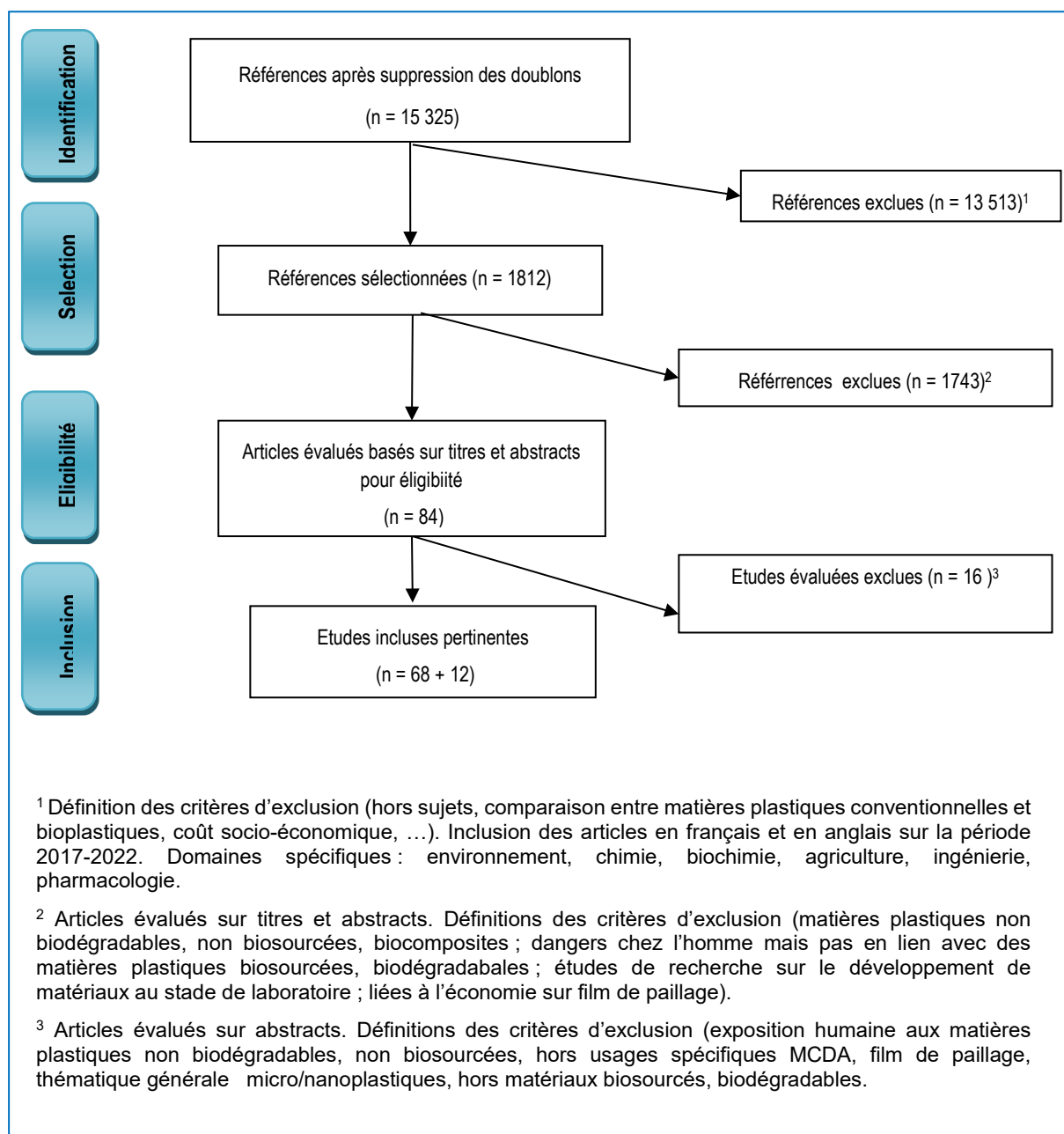


Figure 14: diagramme de flux

Notes



anses

AGENCE NATIONALE DE SÉCURITÉ SANITAIRE
de l'alimentation, de l'environnement et du travail

14 rue Pierre et Marie Curie 94701 Maisons-Alfort Cedex
Tél : 01 42 76 40 40
www.anses.fr — [@Anses_fr](https://twitter.com/Anses_fr)