

Projet Minéral

Test et validation des modes
de valorisation organique des
emballages alimentaires
certifiés compostables



En partenariat avec

AgroParisTech



Publication

4 mai 2023



INTRODUCTION AU COMPOSTAGE DES EMBALLAGES ALIMENTAIRES

C'est quoi le compost ?

Le **compost** est produit par la dégradation des déchets organiques au contact de micro-organismes en présence d'oxygène et d'humidité. Il peut être produit à l'échelle domestique ou industrielle.

À l'échelle industrielle, le compostage est réalisé sur des plateformes pouvant traiter des déchets verts et des biodéchets selon un processus en 3 étapes successives : une phase active thermophile, une phase de maturation et une phase d'affinage après le criblage du compost.

La décomposition de la matière organique est facilitée par l'aération et le maintien de l'humidité du compost obtenus par des retournements et des arrosages réguliers. Il en résulte une augmentation de la température proportionnelle à l'activité microbienne. En conditions industrielles, les volumes de biodéchets traités (de l'ordre 300 tonnes par andain) sont tels que l'inertie thermique permet d'atteindre et maintenir pendant plusieurs semaines des températures élevées comprises entre 55 et 85°C. Ces conditions de température sont recherchées dans le procédé de compostage, car elles sont indispensables à la bonne hygiénisation des déchets entrants (pathogènes, graines adventices...).

Ce mode de valorisation organique permet l'obtention d'une matière fertilisante stable, riche en composés humiques : le compost. Il s'accompagne d'une perte de masse importante liée à la production de vapeur d'eau et de dioxyde de carbone.



Les plastiques compostables

Le développement de solutions technologiques pour les **emballages alimentaires compostables** à base de différents polymères et formulations a entraîné des débats sur leur performance et leur traitement en conditions réelles. Bien que leur biodégradation soit validée dans des conditions standardisées selon les normes en vigueur, il existe très **peu d'études opérationnelles** ayant permis de suivre leur comportement en **conditions réelles** à travers un procédé industriel ou ménager.

Ce manque de données expérimentales validées scientifiquement a engendré un débat controversé sur la performance des matériaux biodégradables et la façon de les considérer dans les étapes de collecte et tri. Les professionnels redoutent que la présence de ces matériaux réduise la productivité des procédés de traitement des déchets, tandis que les associations environnementales pointent le risque de création de microplastiques résultant d'une biodégradation incomplète. **En absence de données scientifiques**, et en accord avec le principe de précaution, le législateur a limité la typologie d'emballages et déchets compostables, méthanisables ou biodégradables pouvant faire l'objet d'une collecte conjointe avec des biodéchets triés à la source [2]. En 2022, le **projet Minéral** a été initié pour répondre aux interrogations concernant la **performance des matériaux compostables en station de compostage industriel réel**.



Quel cadre réglementaire ?

Dans la filière des emballages, il existe plusieurs normes qui réglementent la pratique de compostage :

La norme de spécification NF EN 13432 encadre les emballages qui peuvent être valorisés par compostage industriel. Pour qu'un matériau puisse être considéré comme compostable industriellement, plusieurs exigences doivent être réunies en termes de maîtrise de ses constituants (additifs, métaux lourds, substances toxiques et dangereuses), taux de biodégradabilité et désintégration, et phytotoxicité. En outre, ce matériau doit être en mesure de se biodégrader totalement, ce qui correspond à un taux de transformation du carbone organique constituant les matériaux en CO₂ de 90% en moins de 6 mois, et il doit se désintégrer à plus de 90% en fragments inférieurs à 2 mm en moins de 3 mois.

La norme NF U44-051 en cohérence avec le règlement européen (EU Reg 1009/2019) précise les conditions pour qu'un compost soit considéré comme un **produit valorisable en tant qu'amendement agricole** à l'issue du processus de compostage. Ces conditions entendent les critères agronomiques, microbiologiques, inertes et impuretés, etc.

La directive Européenne du 30 mai 2018, reprise en France par **la loi du 10 février 2020 contre le gaspillage et pour l'économie circulaire**, prévoit que tous les particuliers devront disposer d'une solution pratique de tri à la source de leurs biodéchets [1] dès le 1er janvier 2024. **Le tri à la source des biodéchets** permettra un retour au sol de qualité par une valorisation agronomique de ces déchets biodégradables. Le compostage fait partie des solutions de valorisation organique de ces biodéchets au même titre que la méthanisation (ou digestion anaérobie).



À PROPOS DU PROJET MINÉRAL

Notre objectif

La **Chaire CoPack** est une chaire partenariale de mécénat de 5 ans portée par la **Fondation AgroParisTech** et dirigée par Sandra Domenek, Professeur à AgroParisTech. Son ambition est de revisiter les concepts et systèmes d'emballages alimentaires afin de développer des outils de conception, produits et procédés innovants écoresponsables.

En 2022, l'équipe de la Chaire CoPack coordonnée par Emmanuelle Gastaldi, Maître de Conférence de l'**Université de Montpellier**, a lancé le projet Minéral dans le but de tester et valider les modes de valorisation organique des emballages alimentaires.

Cette étude scientifique sur la performance des matériaux compostables commerciaux destinés au marché de l'emballage alimentaire a été mise en place pour évaluer les éléments suivants :

- la **compostabilité en situation réelle** de matériaux compostables biodégradables certifiés selon les normes en vigueur,
- les **propriétés des microfragments** générés au cours du processus de compostage et leur devenir dans un sol agricole en situation d'épandage,
- l'**impact** de ces matériaux **sur la qualité** du compost final.



Fig. 1 Retourneur d'andain

L'expérimentation a été réalisée en partenariat avec :

Le **Syndicat Centre Hérault** (SCH), dont la plateforme de **compostage industrielle** située à Aspiran (proche de Montpellier) traite avec un procédé mécanisé les biodéchets et les déchets verts produits sur son territoire de 80 000 habitants.

et l'**Association Française des Compostables Biosourcés** (AFCB) qui représente l'ensemble des acteurs de la filière française des résines biosourcées, biodégradables et compostables. Pour les besoins de cette expérimentation, les membres de l'AFCB tels que **BASF, CARBIOLICE, NOVAMONT, TOTAL CORBION, SPHERE, Green Business and Consulting Company** ont mis à disposition une large gamme de matériaux compostables commerciaux (souple et rigides tels que des sacs, du film, des barquettes et des dosettes de café).

PREMIERS RÉSULTATS

➤ Pour la première fois, une expérimentation de compostage industriel réunit **l'ensemble des fabricants européens et français de la filière des résines biosourcées, biodégradables et compostables.**

➤ Un lot de **20 tonnes de biodéchets** collectés auprès des ménages a été additionné de 323 kg de matériaux compostables certifiés et commercialisés pour atteindre un **taux d'incorporation volontairement surestimé de 1,3 %** avant d'être mis à composter sur la plateforme industrielle.

➤ La présence de matériaux compostables a eu un **effet positif sur le rendement de compostage** de biodéchets collectés chez les ménages par rapport au lot témoin traité dans les mêmes conditions.

➤ La présence de matériaux compostables dans le lot de biodéchets n'a **aucun impact négatif sur la qualité agronomique** du compost final.

➤ La présence de matériaux compostables dans le lot de biodéchets ne génère **aucune écotoxicité** vis-à-vis des végétaux supérieurs, des vers de terre et des daphnies.

➤ Le **caractère non persistant** des fragments de plastiques compostables résiduels est **en cours d'évaluation** à travers une étude visant à prédire leur devenir dans un sol agricole en cas d'épandage.

➤ Les premiers résultats obtenus sont **prometteurs** et montrent une **poursuite de la biodégradation des fragments en sol** avec une vitesse qui augmente avec leur temps de séjour dans le compost.

➤ Tous les matériaux testés en conditions réelles de compostage **répondent aux exigences de désintégration de la norme NF EN 13432** relative à la valorisation par compostage industriel des emballages.



L'EXPÉRIMENTATION PAR ÉTAPES

1 La cartographie des plateformes de compostage industrielles

La cartographie des centres de compostage existants réalisée par la Chaire CoPack en 2022 a révélé un maillage du territoire français assez fin avec **environ 750 plateformes de compostage en activité**. Pour cibler l'effort expérimental, une synthèse des méthodologies de compostage utilisées en France et de leurs paramètres de procédé critiques a été effectuée sur la base de données publiques accessibles sur le site [SINOE® de l'ADEME](#), ainsi que des données internes aux partenaires du projet et la visite d'un certain nombre de stations de compostage représentatives de différents types de procédé (en andain ou en casier, couvert ou à ciel ouvert, avec ou sans aération forcée, avec ou sans tunnel de compostage thermomécanique). En conclusion, la méthode la plus utilisée en France actuellement est la méthode de compostage en andain ouvert avec retournement qui présente en outre l'intérêt d'être la plus sobre techniquement et économiquement, suivie de la méthode de compostage en casier avec ou en absence d'aération forcée.

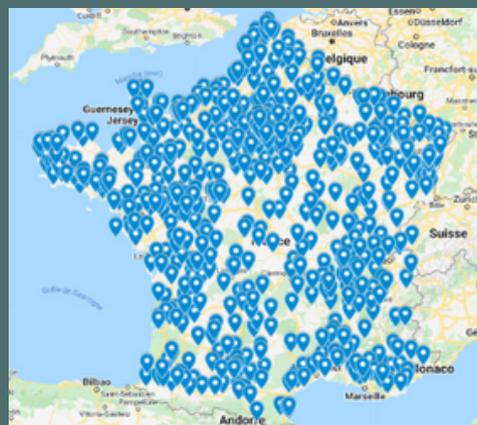


Fig. 2 Cartographie des installations de compostage industriel en France



Fig. 3 Terrain d'action du Syndicat Centre Hérault

2 Le site de compostage sélectionné

À la suite de cette évaluation de la filière et aux discussions avec les plateformes de compostage, **le site du Syndicat Centre Hérault** à Aspiran (à proximité de Montpellier) a été choisi pour accueillir un premier essai de compostage en conditions réelles. [La plateforme d'Aspiran](#) accueille deux types de déchets, des biodéchets issus de la collecte à la source des ménages (3000t/an) et des déchets verts (6000t/an) provenant du réseau de déchetteries de son territoire de 8000 habitants constitué de 3 communautés de communes rurales. La plateforme de compostage du Syndicat Centre Hérault répond aux exigences réglementaires et utilise la méthodologie des andains à ciel ouvert avec retournement (sans aération forcée). Les composts qui y sont élaborés sont conformes à la norme **NF U44-051** et sont **labellisés ASQA** [3] et « **matières fertilisantes et supports de culture utilisables en Agriculture Biologique** » conformément aux exigences du [référentiel L302](#) [4].

3 Les biodéchets utilisés

Pour réaliser l'expérimentation, l'équipe du projet Minéral a utilisé **40 tonnes de biodéchets** (comme définis par l'article L541-1-1 du code de l'environnement), constitués ici d'un mélange équivalent de déchets alimentaires ou de cuisine, et de déchets verts collectés dans les bacs verts sur les 3 communautés de communes. À ces biodéchets, qui représenteront 80% du mélange final, ont été ajoutés 10% de broyats végétaux (source de carbone rapidement assimilable pour les microorganismes), et 10% de structurant végétal issu des refus de criblage du compost de déchets verts produit sur la plateforme. Le mélange final sera donc constitué de **40% de déchets alimentaires et 60% de déchets végétaux**. Pour éviter toute contamination du milieu environnant, un compostage en casier sans aération forcée a été utilisé.

4 Le nettoyage des biodéchets

Afin de réduire les biais résultant de la contamination préexistante des déchets causée par des erreurs de tri tels que la présence de plastiques non compostables et d'autres types d'objets, un **nettoyage manuel des biodéchets** a été réalisé avec l'aide d'un groupe d'étudiants de l'Université de Montpellier (LP ALIPACK). Au total, 600 kg d'erreurs de tri (soit **1,5 %** en masse) ont été éliminés des biodéchets et seront finalement traités dans un centre d'enfouissement.



Fig. 4 Nettoyage du lot de 40t de biodéchets



5 L'introduction des matériaux compostables



Fig. 5 Introduction des matériaux compostables (1,3%) dans le lot « TEST » : avant et après mélange

Les 40 tonnes de biodéchets mélangés aux broyats végétaux et au structurant végétal ont été séparés en **deux lots identiques de 20 tonnes** : un lot « **TEST** » auquel **1,3 %** en masse de plastiques compostables fournis par les membres de l'AFCB ont été ajoutés (soit 323 kg), et un lot « **TÉMOIN** » sans ajout de matériaux.

Le processus de compostage a ensuite été suivi et des mesures régulières de température et d'humidité ont été pratiquées. À intervalles réguliers, les 2 lots de compost ont été échantillonnés pour être ensuite analysés en laboratoire de recherche avec pour objectif d'étudier le processus de désintégration et biodégradation des matériaux compostables.

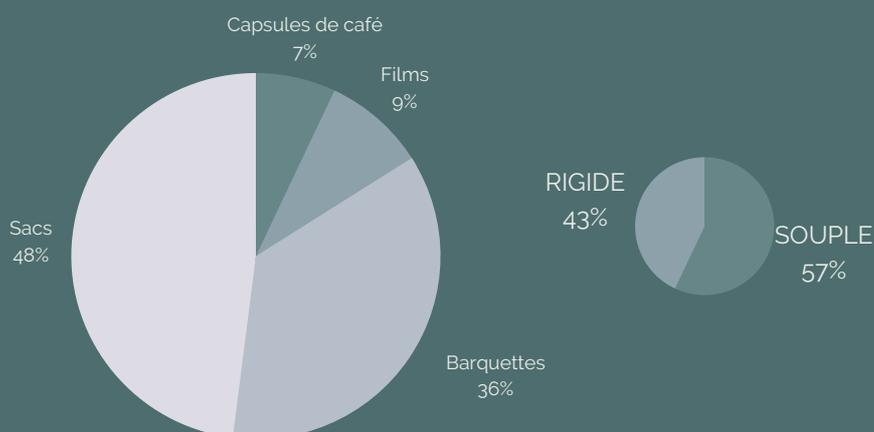


Fig. 6 Caractéristiques des plastiques compostables introduits dans le lot TEST

6 Le suivi du processus de compostage en conditions réelles

Selon la méthodologie suivie par les professionnels du compostage industriel, les 2 lots de compost ont été régulièrement aérés par retournement et arrosés pour maintenir leur humidité entre 50 et 60% pendant toute la **phase active de compostage** (ou phase thermophile). La température au cœur des 2 lots s'est maintenue aux alentours de 70°C [5] pendant 8 semaines, ce qui permet de valider leur hygiénisation. La fin de la phase active de compostage [6] a été validée par un test de Rottegrad [7] ou test de maturité réalisé par la plateforme de compostage. La **phase de maturation** (ou phase mésophile) a duré 79 jours pendant lesquels la fréquence de retournement et d'arrosage a été diminuée.



Fig. 8 Retournement du lot de compost et mesure de la température

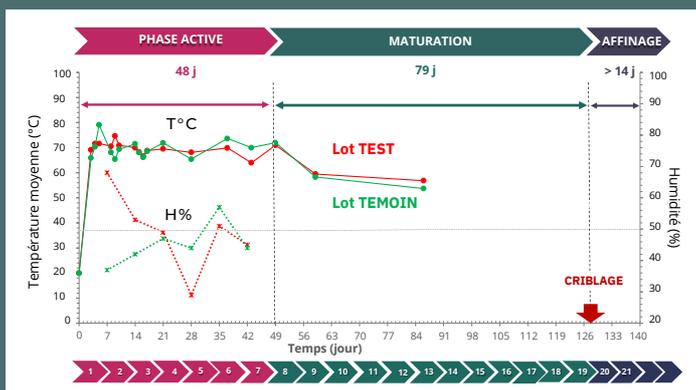


Fig. 7 Suivi du processus de compostage

À l'issue de la phase de maturation, les 2 lots de compost ont été criblés. La quantité de fraction fine de compost (inférieur 10 mm) récupérée après criblage et commercialisable est plus importante pour le lot « **TEST** » que pour le lot « **TÉMOIN** » avec des rendements respectifs de 58,5 et 55,8% par rapport à la quantité de compost criblé.

De même, la masse de compost obtenue après criblage rapportée à la masse totale mise à composter (biodéchets, structurant végétal, avec ou sans matériaux compostables) est plus élevée pour le lot « **TEST** » que pour le lot « **TÉMOIN** » avec des rendements respectifs 23,5 et 22,0%.



PREMIERS RÉSULTATS

Ces résultats permettent de conclure que la présence de matériaux compostables (à un taux de charge de 1,3%) n'a aucun impact négatif sur le compostage de biodéchets collectés chez les ménages et présenterait même un effet positif qui reste à confirmer par d'autres essais.

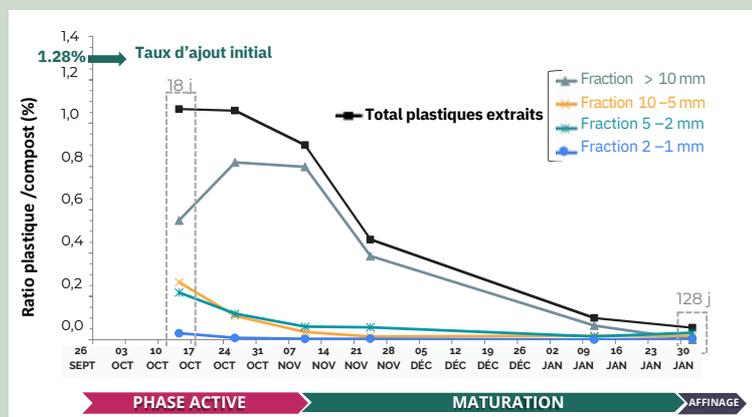


Fig. 9 Évolution des microfragments de plastiques compostables au cours du processus de compostage

Pour vérifier la conformité des 2 lots de compost vis-à-vis de la norme NF U44-051 qui encadre les composts de fermentescibles alimentaires et/ou ménagers, un organisme accrédité indépendant a été sollicité (SADEF). Les résultats de ces analyses ne montrent aucune différence significative entre les 2 lots ; les 2 lots répondent aux exigences de la norme NF U44-051, et peuvent, de surcroît, être labellisés ASQA et « matières fertilisantes et supports de culture utilisables en Agriculture Biologique » conformément au référentiel I3024.

Enfin, bien que non exigé par la norme NF U44-051, l'écotoxicité vis-à-vis des végétaux supérieurs, des vers de terre et des daphnies a également été évaluée sur les 2 lots et les résultats de ces analyses n'ont mis en évidence aucun signe d'écotoxicité.

EN SYNTHÈSE

Cette expérimentation valide que **la présence de matériaux compostables** dans un lot de **biodéchets** mis à composter industriellement **augmente le rendement** de compostage et n'a **aucun impact négatif sur la qualité agronomique, microbiologique et toxicologique** du compost final obtenu.

7 Biodégradation et microfragments résiduels

L'expérimentation de compostage a été suivie pendant 4 mois par les scientifiques de l'équipe du projet Minéral. Au total, cinq prélèvements représentatifs [8] ont été réalisés sur les lots « TEST » et « TÉMOIN » pour être ensuite étudiés dans les laboratoires de recherche de l'Université de Montpellier et d'AgroParisTech.

Les fragments de matériaux compostables résiduels isolés des échantillons de compost prélevés à différents stades du processus de compostage ont été **quantifiés et analysés pour évaluer leur état de dégradation** (diminution de la masse molaire, cristallinité, degré d'oxydation, etc.).

En attendant de pouvoir mesurer précisément la quantité de fragments de taille inférieure à 1 mm présents dans le compost final, une étude de biodégradation en sol a été initiée pour évaluer **le caractère non persistant** des fragments de plastiques compostables résiduels prélevés à différents stades du processus de compostage. Cette étude vise à prédire le devenir de ces fragments résiduels dans un sol agricole en situation d'épandage.

Bien que les résultats définitifs de cette étude ne soient pas attendus avant plusieurs mois, les premiers résultats obtenus sont **prometteurs**. En effet, ils mettent en évidence une **poursuite de la biodégradation des fragments en sol** avec une vitesse qui augmente avec leur temps de séjour dans le compost (résultats obtenus avec des microfragments de mêmes dimensions prélevées à différents stades du processus de compostage).

EN SYNTHÈSE

La quantification des fragments résiduels retrouvés dans le compost final montre que sur les 323 kg de plastiques compostables introduits dans le lot « TEST », **97 à 99% (en masse) ne sont plus présents après tamisage à 1 mm.**



Fig. 10 Calendrier des prélèvements des matériaux en cours d'expérimentation



Notes

[1] Définition des biodéchets selon l'article L. 541-1-1 du code de l'environnement : "Les déchets non dangereux biodégradables de jardin ou de parc, les déchets alimentaires ou de cuisine provenant des ménages, des bureaux, des restaurants, du commerce de gros, des cantines, des traiteurs ou des magasins de vente au détail, ainsi que les déchets comparables provenant des usines de transformation de denrées alimentaires."

[2] 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,

[3] Label de qualité délivré par l'association CompostPlus.

[4] Produit utilisable en Agriculture Biologique conformément au référentiel I-302 « Matières fertilisantes et supports de culture utilisables en Agriculture Biologique » règlement (CE) n°834/2007.

[5] Soit $69,66^{\circ}\text{C} \pm 2,45$ et $69,71^{\circ}\text{C} \pm 3,67$ pour les lots « TÉMOIN » et « TEST » respectivement. En termes de température, il s'avère que les conditions standardisées des tests normés préconisées en laboratoire (58°C) sont inférieures que celles réellement obtenues en station de compostage industrielle. Les conditions de température préconisées par les tests normés (NF EN 13432) pour évaluer la compostabilité des matériaux d'emballage en conditions industrielles n'apparaissent donc pas surestimées par rapport aux températures réellement obtenues en stations de compostage.

[6] La durée de la phase active de compostage a été légèrement augmentée par rapport à ce qui est habituellement pratiqué sur cette plateforme. La taille réduite du lot (20t vs 300t) qui a de plus été stocké en casier et non pas en ligne (andain) diminuant de ce fait la fréquence des retournements en rendant impossible l'utilisation du retourneur d'andain, pourraient être à l'origine de cette augmentation.

[7] Le test de Rottegrad permet d'apprécier le niveau de maturité du produit et de s'assurer de l'état d'avancement du procédé de compostage. Un compostage insuffisant peut provoquer une phytotoxicité des cultures.

[8] L'échantillonnage des 2 lots de compost a été réalisé avec un nombre de prélèvements élémentaires égal à 12 (nombre de prélèvements recommandé pour un lot $> 580 \text{ m}^3$ sachant que 20t de compost correspondent à un volume compris entre 28 et 50 m^3) selon la norme NF EN 12579. La méthode des quartiers (ADEME) a été suivie pour constituer un échantillon final représentatif de 10 kg environ.



Chaire CoPack



Co-construisons des emballages responsables

Portée par la Fondation AgroParisTech



En partenariat avec



CONTACT



Emmanuelle Gastaldi
Maitre de conférences
Université de Montpellier
emmanuelle.gastaldi@umontpellier.fr



Sandra Domenek
Professeure à AgroParisTech
Directrice de la Chaire CoPack
sandra.domenek@agroparistech.fr



Ejsi Hasanbelliu
Coordinatrice
Chaire CoPack
ejsi.hasanbelliu@agroparistech.fr

Chaire CoPack
AgroParisTech
22 Place de l'Agronomie
91120 PALAISEAU

www.chairecopack.fr
contact@chairecopack.fr