



**HAL**  
open science

## Barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agro-alimentaires : Projet FP7 EcoBioCAP

Helene Angellier-Coussy, Valérie Guillard, Patrice Buche, Nathalie Gontard

### ► To cite this version:

Helene Angellier-Coussy, Valérie Guillard, Patrice Buche, Nathalie Gontard. Barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agro-alimentaires : Projet FP7 EcoBioCAP. *Innovations Agronomiques*, 2017, 58, pp.61-67. 10.15454/1.5137837383109478E12 . hal-02617552

**HAL Id: hal-02617552**

**<https://hal.inrae.fr/hal-02617552v1>**

Submitted on 25 May 2020

**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

## **Barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agro-alimentaires : Projet FP7 EcoBioCAP**

**Angellier-Coussy H.<sup>1</sup>, Guillard V.<sup>1</sup>, Buche P.<sup>2</sup>, Gontard N.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Université Montpellier, UMR IATE, IUF, 2 Place P. Viala, F-34060 Montpellier

<sup>2</sup> INRA UMR IATE, 2 Place P. Viala, F-34060 Montpellier

**Correspondance** : helene.coussy@umontpellier.fr

### **Résumé**

Recycler des résidus agro-alimentaires pour la production d'une nouvelle génération d'emballages alimentaires biodégradables est le défi relevé par l'UMR IATE dans le cadre du projet européen EcoBioCAP coordonné par N. Gontard, et rassemblant 16 partenaires académiques et privés de France, Suède, Italie, Portugal, Irlande, Espagne, Hongrie et Allemagne. Cette nouvelle génération d'emballages est destinée à remplacer les plastiques d'origine pétrochimique. Les matériaux développés sont des composites dont les constituants (bio-polyesters, fibres ligno-cellulosiques et bio-additifs) sont obtenus soit par fermentation d'effluents liquides (eaux de lavage d'huilerie, petit lait d'industries laitières) soit par fractionnement et traitement de résidus solides (pailles de céréales, tourteaux d'huileries, de brasseries et plumes d'élevages). En s'appuyant sur une approche de compréhension et de modélisation multi-échelles des relations entre la structure de composites et les transferts de matière, le projet EcoBioCAP propose aux industries alimentaires de l'Union Européenne, des emballages biodégradables et modulables à façon selon les exigences et besoins des produits alimentaires, avec des bénéfices directs à la fois pour l'environnement et pour les consommateurs en termes de qualité et de sécurité des aliments.

**Mots-clés** : Emballages biodégradables, Eco-efficient, Bio-composite, Propriétés de transfert de matière, Modélisation

### **Abstract: Agro-sourced packaging trays from agro-food by products: FP7 EcoBioCAP project**

Recycling agro-food by-products and waste to produce the next generation of biodegradable food packaging is the challenge faced by the JRU IATE in the framework of the European project EcoBIOCAP coordinated by N. Gontard and gathering 16 academic and private partners from France, Sweden, Portugal, Ireland, Spain, Hungary and Germany. This new generation of packaging materials is intended to replace our current oil-based plastics. The materials developed in EcoBIOCAP are bio-composites which constituents (biopolyesters, ligno-cellulosic fibers and bio-additives) are obtained either by fermentation of liquid waste (wastewater or effluent from olive oil-mill or dairy industry) either by milling of solid residues (wheat straw, press cake from olive oil or brewing industry). Supported by multi-scale reasoning and modelling of the relationship between structure and mass transfer properties, the EcoBIOCAP project proposed to European food industries biodegradable packaging which properties could be tailored according to the need of the food, with direct benefits either for the environment and for the consumers in terms of food quality and safety.

**Keywords**: Biodegradable packaging, Eco-efficiency, Bio-composite, Mass transfer properties, Modelling

## 1. L'emballage : un rôle unique dans la conservation des aliments

La fonction première de l'emballage alimentaire est de protéger, transporter et stocker ces denrées périssables que sont nos aliments. L'emballage doit maintenir leur intégrité au cours du stockage ce qui signifie éviter toute exposition aux dommages physiques que sont les chocs ou bien aux éléments de l'environnement préjudiciable comme les poussières, la lumière, les substances chimiques ou bien encore les contaminations microbiologiques. De plus, les emballages doivent maintenir les qualités sensorielles (texture, couleur, flaveur) et nutritionnelles (teneurs en vitamines, nutriments) tout en limitant le risque sanitaire pour le consommateur (e.g. inhibition de la croissance de microorganismes pathogènes).

La conservation des aliments peut être définie comme la réduction des principales réactions d'altération des aliments d'ordre physico-chimique, microbiologiques et physiologiques (métabolisme aérobie pour les produits dits « vivants » tels que les fruits et légumes frais par exemple). Au-delà de la qualité initiale des matières premières, la conservation des produits dépend des vitesses de dégradation qui sont fortement influencée par les procédés de transformations, distribution et stockage. Au cours du stockage, les compositions gazeuses dans l'environnement proche de l'aliment influencent fortement leur conservation. L'emballage joue ainsi un rôle majeur en définissant, autour de l'aliment, une atmosphère spécifique favorable à sa conservation dont la composition est contrôlée par les transferts de matière au travers du matériau, entre l'atmosphère environnante et l'espace de tête (Angellier-coussy et al., 2013; Floros et Matsos, 2005; Guillaume et al., 2008).

Ainsi, les transferts de matière sont au cœur de la fonctionnalité de l'emballage alimentaire: transferts de vapeur d'eau, d'oxygène et/ou de gaz carbonique qui conditionnent les vitesses des nombreuses réactions de dégradation des aliments (oxydation, développement microbien, réactions physiologiques etc.), mais aussi transferts d'additifs contenus dans le matériau d'emballage, qu'ils soient volontaires (emballages actifs absorbant d'oxygène) ou indésirables (transferts d'additifs de l'emballage vers l'aliment) ».

La recherche dans le domaine de l'emballage alimentaire, et la conception de nouveaux matériaux plus respectueux de l'environnement nécessitent donc de s'intéresser de très près à leurs propriétés de transferts de matière, notamment de perméations aux gaz ( $O_2/CO_2$ ) et vapeur d'eau. Ces dernières doivent correspondre aux besoins des aliments du point de vue de leur conservation. Ce souci constant d'adéquation entre fonctionnalité attendue et propriété des matériaux a guidé, tout au long du projet EcoBioCAP, la démarche de développement de nouveaux matériaux bio-composites.

## 2. Des constituants uniquement issus de résidus agro-alimentaires

Le projet EcoBioCAP a pour ambition de développer des emballages biodégradables, éco-efficaces en établissant un cycle dans le devenir de la matière (Figure 1). Il s'agit de valoriser des sous-produits des industries alimentaires. Des résidus liquides comme les eaux de lavage d'huileries d'olive et du lactosérum de fromageries ont été utilisés avec succès par les partenaires portugais (IBET) et italiens (Universités de Rome et de Bologne) comme substrat de fermentation pour la production d'un polymère bactérien, le Poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate) (PHBV), copolymère de butyrate et valérate.



**Figure 1** : Barquette biodégradable issue de sous-produits des industries agro-alimentaires : mélange Poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalérate) (PHBV) et de fibres ligno-cellulosiques issues du broyage de pailles de blé. Projet européen EcoBioCAP ([www.ecobiocap.eu](http://www.ecobiocap.eu)).

Les ressources de la plateforme de transformation des produits végétaux de l'UMR IATE ont permis le développement de charges de renfort à partir de sous-produits ligno-cellulosiques (paille de blé, drèches de bière et grignons d'olive) pour des applications composites, dont les caractéristiques intrinsèques ont pu être contrôlées via la combinaison de procédés de broyage par voie sèche et de tri (turbo-séparation) (Figure 2).

Les performances du PHBV obtenu sont similaires aux produits commerciaux actuellement produits à partir de ressources alimentaires telles que le sucre de canne ou l'amidon de maïs hydrolysé (Muhammadi et al., 2015). Une amélioration de son aptitude à la transformation a été obtenue en modulant le taux de valérate grâce à la mise en œuvre de cultures microbiennes mixtes et l'élaboration d'itinéraires de production optimisés (Carvalho et al., 2014; Hilliou et al., 2016a, 2016b).

La combinaison des deux constituants, PHBV et charges de renfort ligno-cellulosiques permet d'ajuster les propriétés fonctionnelles (propriétés mécaniques, propriétés de transfert de matière aux gaz et à la vapeur d'eau) ainsi que le coût du matériau composite final (Berthet et al., 2015b).

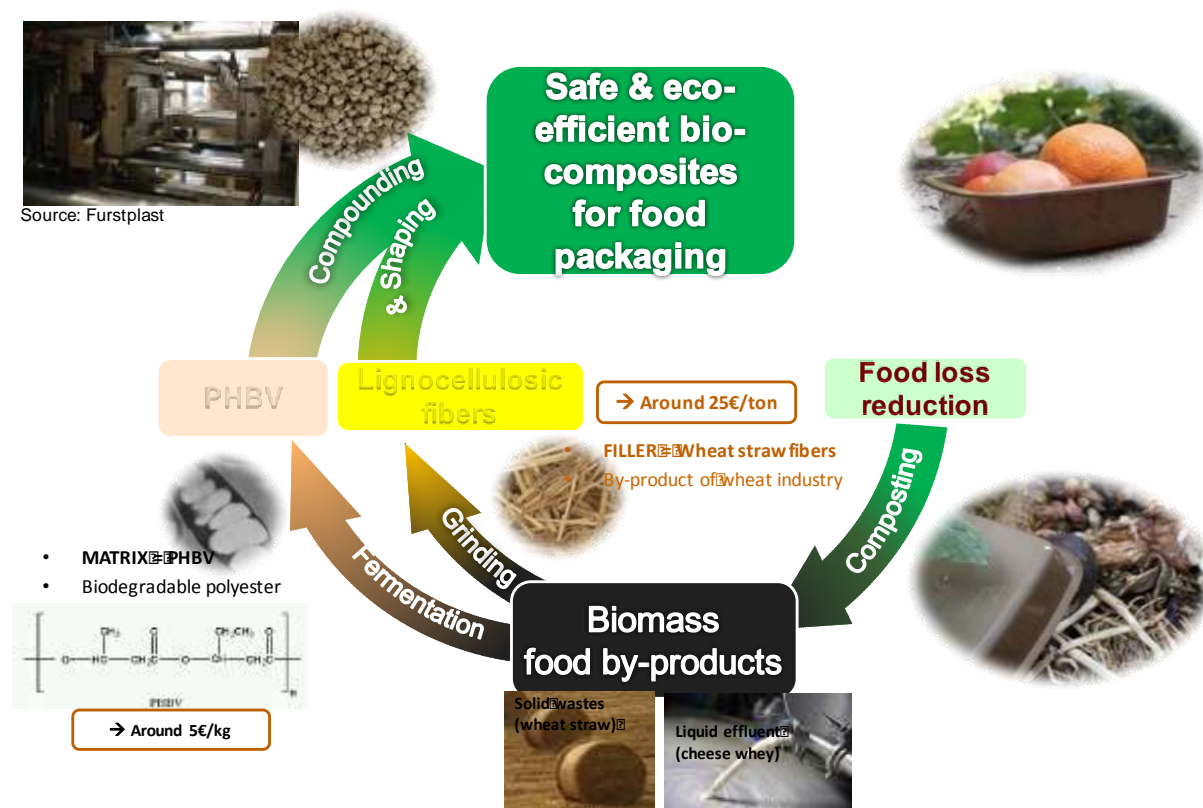


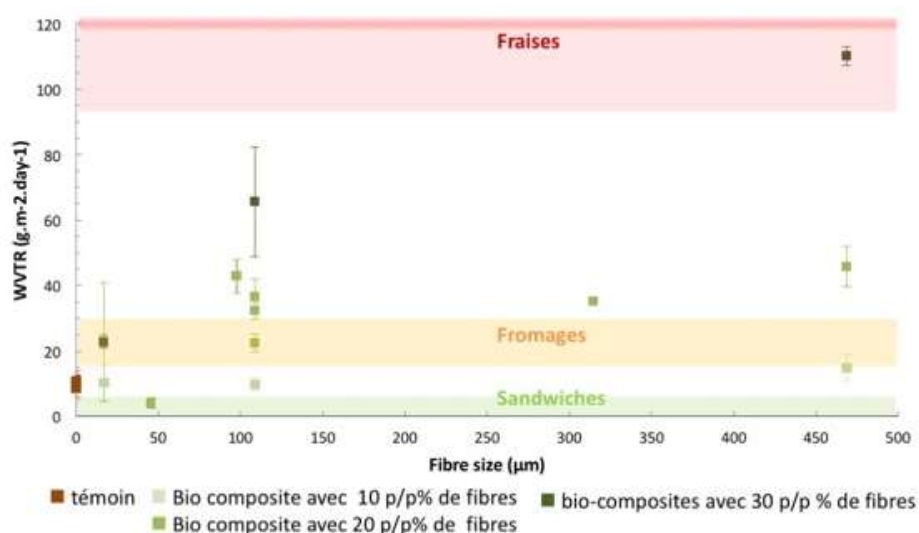
Figure 2 : Ambition du projet EcoBIOCAP : des résidus agro-alimentaires vers la production d'emballages alimentaires éco-efficent.

### 3. Des biocomposites alliant charges ligno-cellulosiques et matrice polymérique pour répondre aux besoins spécifiques des aliments

La mise au point des matériaux composites EcoBioCAP repose sur une approche intégrée qui considère à la fois les besoins de l'aliment en terme de protection, notamment vis-à-vis des transferts de matière (propriétés de perméabilité à l'O<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub>), l'aptitude au contact alimentaire, les contraintes liées à la transformation (cristallisation pour une mise en forme par injection), les propriétés mécaniques, le coût et l'impact sur l'environnement (consommation énergétique des procédés).

Ainsi pour diminuer le coût final du matériau (le PHBV a un coût encore élevé de 5€/kg), le PHBV et les charges de renforts ligno-cellulosiques peu coûteuses (25€/tonne) sont assemblés en un matériau composite grâce à la mise en œuvre de technologies innovantes de structuration à différentes échelles (mélanges intimes, multi-couches et électro-filage à échelle nano-métrique). Un compromis a été obtenu entre la taille des charges de renforts et la quantité ajoutée dans le mélange et la « processabilité » (plus la quantité de charges est importante, plus le coût est diminué mais plus la « processabilité » du bio composite est limitée), les propriétés mécaniques (le matériau devient cassant pour des quantités de charges incorporées croissantes, taux de charge massique > 20 %), le coût économique et environnemental du procédé (plus les charges de renfort sont fines, plus le procédé de broyage permettant leur obtention est consommateur d'énergie) (Berthet et al., 2015a, 2015b).

A partir de cette formulation de bio composite, des barquettes alimentaires ont été fabriquées par injection/moulage à échelle industrielle chez le partenaire FürstPlast à partir de granulés composites constitués de bio-polyesters et de fibres de pailles (taux de charge de 20% massique) préalablement préparés par extrusion au sein de l'UMR IATE (Figure 1). Les particules de paille permettent de moduler les propriétés barrière du matériau composite selon la taille des fibres et le taux de charge, permettant par exemple, une augmentation de la perméabilité à la vapeur d'eau du PHBV ce qui lui permet de s'adapter au conditionnement des produits respirant comme les fruits et légumes frais nécessitant une perméation élevée à la vapeur d'eau (Figure 3).



**Figure 3** : Impact de la taille des agents de charges ligno-cellulosiques intégrés dans la formulation du bio-composite sur ses propriétés de transfert à la vapeur d'eau (Zone colorée : cible de perméance (WVTR) à la vapeur d'eau pour différents produits frais).

L'étude des risques sanitaires liés au recyclage a mis en évidence que les procédés successifs de traitement des matériaux permettaient de décontaminer plus de 80% de résidus comme l'épiconazole ou l'hexachlorocyclohexane, contenus dans la paille et le lactosérum respectivement. Les hypothèses les plus pessimistes (teneur résiduelle, migration et exposition maximales) ne mettent pas en évidence de danger potentiel pour la santé du consommateur (quantité ingérée en épiconazole ou hexachlorocyclohexane largement inférieure aux doses journalières admissibles). Des outils d'aide à la décision ont été développés pour aider les industriels dans leur choix d'un emballage plus sûr et plus écologique pour un aliment frais donné.

#### 4. Vers une meilleure compréhension des propriétés de transfert de matière dans les biocomposites

La conception des matériaux composites EcoBIOCAP a soulevé des questions scientifiques spécifiques notamment en ce qui concerne la compréhension des relations entre structure et propriétés de transfert de matière dans ces matériaux. Devant la complexité des mécanismes mis en jeu, une approche de modélisation mathématique a été mise en place pour tenter d'élucider les phénomènes observés. Les modèles existants de la littérature n'étant pas adaptés à nos matériaux complexes, une approche multi-échelle de prédiction de la perméabilité à la vapeur d'eau a été développée en prenant en compte les paramètres structuraux 2 D et les propriétés de transfert d'eau dans les particules et dans la matrice (Wolf et al., 2016). Cette étude a mis en évidence que l'on ne pouvait pas prédire facilement les propriétés de transfert d'eau du bio composite à partir des propriétés individuelles de ses constituants, matrice et particule. Les propriétés de transfert évaluées sur la particule seule à une échelle macroscopique ne sont probablement pas les mêmes une fois celle-ci introduite dans le polymère, où les particules sont broyées plus finement (taille microscopique). Par ailleurs, une fois incluses dans la matrice, les particules ligno-cellulosiques subissent des contraintes mécaniques qui modifient probablement leurs propriétés de sorption d'eau (gonflement de la particule limitée et contraint par rapport à leur état natif). La matrice elle-même peut être modifiée par l'ajout de fibres. De même, il apparaît, dans le bio-composite, une zone au niveau de l'interface matrice/fibre qui peut modifier fortement les propriétés de transfert du matériau final. Cette interphase constitue un troisième compartiment avec ses propriétés propres à déterminer.

Cette nouvelle approche de modélisation ouvre des perspectives intéressantes en termes de compréhension des phénomènes de transferts dans les matériaux bio composites. Ce travail se poursuit actuellement au sein de l'UMR IATE sur des matériaux modèles dans l'objectif de mieux appréhender le rôle de l'interphase sur les propriétés globales du matériau. Au-delà, cette nouvelle approche de modélisation ouvre aussi une voie innovante de rétro-ingénierie permettant de concevoir des structures composites dont les propriétés barrières sont ajustées aux besoins de l'aliment. Cette approche de rétro-ingénierie est intégrée dans un outil plus large d'aide à la décision qui permet de choisir un emballage ou une structure d'emballage sur la base de requête multi critères : le DSS (« Decision Support System ») EcoBioCAP.

#### 5. EcoBioCAP : un outil d'aide à la décision pour le choix d'un emballage

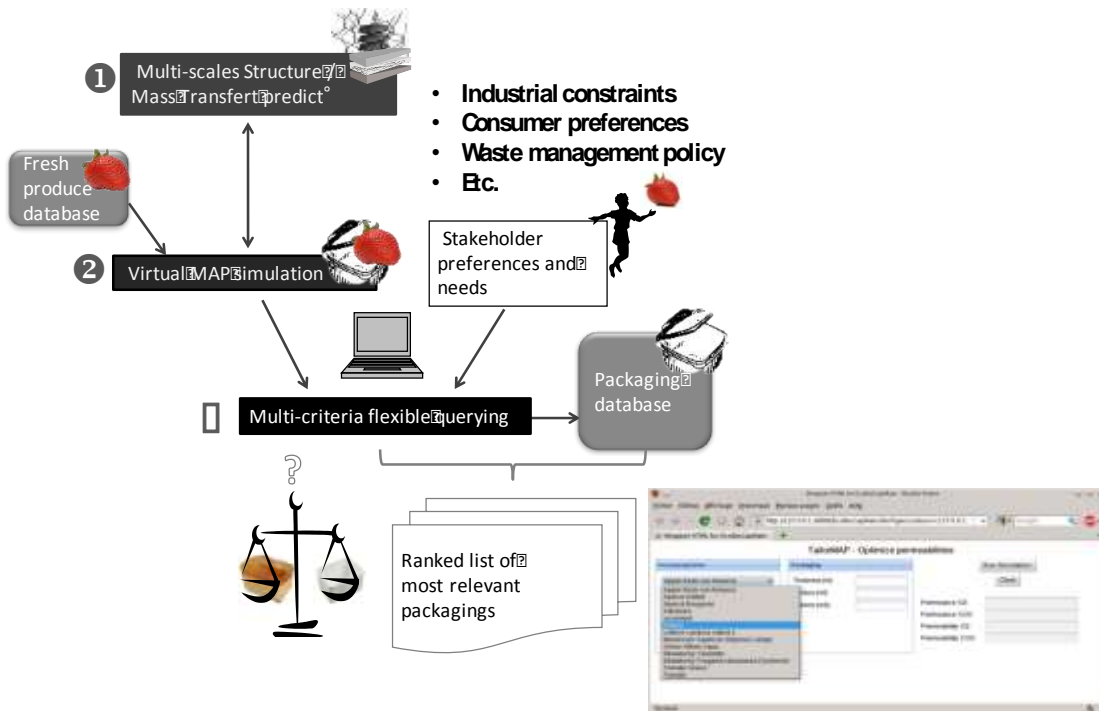
De manière à rationaliser la conception de matériaux et le choix d'un emballage en fonction des différents critères nécessaires (qualité de l'aliment, impact environnemental, coût, etc.), un outil d'aide à la décision a été développé dans le cadre du projet EcoBioCAP. L'architecture de cet outil est présentée dans la Figure 4. Il est le fruit d'une collaboration entre plusieurs champs disciplinaires, le Génie des Procédés, les Sciences des Aliments et l'Ingénierie de la Connaissance.

Le DSS assemble les modèles mathématiques « Virtual MAP » permettant d'identifier les perméabilités à l'O<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub> nécessaires pour une application donnée (produit frais respirant) avec des bases de données dédiées stockant les propriétés des aliments (caractéristiques respiratoires) ou celles des emballages (perméabilités, transparence, biodégradabilité etc.). Le DSS permet à l'utilisateur d'interroger au moyen d'une interface conviviale une base de données « Emballage » sur la base d'une requête multicritères. Par exemple, l'utilisateur voudra trouver l'emballage correspondant à la requête suivante : « *je veux un emballage conservant au mieux la qualité de mon produit (e.g. fraise) à 20°C - c'est-à-dire possédant les propriétés de perméation à l'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> adaptées au produit - si possible transparent et biodégradable, avec un coût matière inférieure à 3€/kg, ....* ».

Dans cette requête, certains éléments sont obligatoires (maintien de la qualité du produit) d'autres sont des souhaits (transparence, biodégradabilité).

Le DSS permet de gérer cette priorisation entre critères obligatoires ou souhaitables. Il permet également de gérer l'absence d'une donnée (par exemple cas où seule la perméabilité à l'O<sub>2</sub> est connue et pas celle au CO<sub>2</sub>), et retourne toujours une réponse (si aucun n'emballage ne convient à 100%, il retourne celui qui est le moins éloigné de la requête de l'utilisateur).

Cet outil constitue une première dans le domaine de l'emballage alimentaire et une aide non négligeable pour tous les acteurs de la filière agro-alimentaire et de l'emballage. Les futures versions de l'outil intégreront les aspects environnementaux et sécurité du consommateur : ces travaux sont en cours actuellement au travers de divers projets.



**Figure 4** : Architecture de l'outil d'aide à la décision EcoBIOCAP permettant de choisir pour un produit donné, un emballage satisfaisant les contraintes et les souhaits de l'utilisateur. Plus d'informations : <http://umr-iate.cirad.fr/axes-de-recherche/ingenierie-des-connaissances/themes-de-recherche/ecobiocap-dss>

## Perspectives

La démarche de recyclage des résidus des filières agro-alimentaires démontrée dans EcoBIOCAP est actuellement approfondie dans le cadre du projet européen H2020 NoAW : No Agricultural Waste. Il a pour objectif de contribuer à la création de schémas de bioraffinerie capable d'optimiser les différentes voies de valorisation des ressources agricoles : alimentation, bio-énergie, biomolécules et bio-matériaux, dans un contexte d'économie circulaire.

## Partenaires

Les partenaires du projet EcoBioCAP incluent 4 organismes de recherche nationaux (INRA, CSIC, SIK and FRAUNHOFER), 4 Universités (Universités de Minho, de Rome, de Bologne et de Cork) et 7 PME (IBET, NBM, CBHU, Novamont, FürstPlast, Le Fédou et Alterbio).

Ce projet a été récompensé par un trophée des Étoiles de l'Europe, décerné à Nathalie Gontard, coordinatrice du projet Ecobiocap, dans la catégorie Environnement, changement climatique.

## Références bibliographiques

Angellier-coussy H., Guillard V., Guillaume C., Gontard N., 2013. Role of packaging in the smorgasbord of action for sustainable food consumption. *Agro Food Ind.* 23, 15–19.

Berthet M.-A., Angellier-Coussy H., Chea V., Guillard V., Gastaldi E., Gontard N., 2015a. Sustainable food packaging: Valorising wheat straw fibres for tuning PHBV-based composites properties. *Compos. Part A Appl. Sci. Manuf.* 72, 139–147. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.compositesa.2015.02.006

Berthet M.-A., Angellier-Coussy H., Machado D., Hilliou L., Staebler A., Vicente A., Gontard N., 2015b. Exploring the potentialities of using lignocellulosic fibres derived from three food by-products as constituents of biocomposites for food packaging. *Ind. Crops Prod.* 69, 110–122. doi:10.1016/j.indcrop.2015.01.028

Carvalho G., Oehmen A., Albuquerque M.G.E., Reis M.A.M., 2014. The relationship between mixed microbial culture composition and PHA production performance from fermented molasses. *N. Biotechnol.* 31, 257–263. doi:10.1016/j.nbt.2013.08.010

Floros J.D., Matsos K.I., 2005. Introduction to modified atmosphere packaging, in: *Packaging, J.H.H.B.T.-I.* in F. (Ed.), *Innovations in Food Packaging*. Elsevier academic press, New York, USA, pp. 159–172.

Guillaume C., Chalier P., Gontard N., 2008. Modified atmosphere packaging using environmentally compatible and active food packaging materials, in: Chiellini E. (Ed.), *Environmentally Compatible Food Packaging*. CRC Press, pp. 396–418.

Hilliou L., Machado D., Oliveira C.S.S., Gouveia A.R., Reis M.A.M., Campanari S., Villano M., Majone M., 2016a. Impact of fermentation residues on the thermal, structural, and rheological properties of polyhydroxy(butyrate-co-valerate) produced from cheese whey and olive oil mill wastewater. *J. Appl. Polym. Sci.* 133, 1–11. doi:10.1002/app.42818

Hilliou L., Teixeira P.F., Machado D., Covas J.A., Oliveira C.S.S., Duque A.F., Reis M.A.M., 2016b. Effects of fermentation residues on the melt processability and thermomechanical degradation of PHBV produced from cheese whey using mixed microbial cultures. *Polym. Degrad. Stab.* 128, 269–277. doi:10.1016/j.polymdegradstab.2016.03.031

Muhammadi S., Afzal M., Hameed S., 2015. Bacterial polyhydroxyalkanoates-eco-friendly next generation plastic: Production, biocompatibility, biodegradation, physical properties and applications. *Green Chem. Lett. Rev.* 8, 56–77. doi:10.1080/17518253.2015.1109715

Wolf C., Guillard V., Angellier-Coussy H., Silva G.D.G., Gontard N., 2016. Water vapor sorption and diffusion in wheat straw particles and their impact on the mass transfer properties of biocomposites. *J. Appl. Polym. Sci.* 0, 1–12. doi:10.1002/app.43329

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « *Innovations Agronomiques* », la date de sa publication, et son URL)