

**Département Caractérisation et Élaboration des Produits Issus de l'Agriculture**  
*Division for Science and Process Engineering of Agricultural Products*

RECHERCHES ET INNOVATIONS  
*RESEARCH & INNOVATION*

POUR L'ALIMENT ET LES BIOPRODUITS - *FOR FOOD & BIOBASED PRODUCTS*



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT

Membre fondateur de  
 **agreenium**  
Agri-Science, Agri-Industrie et Agri-Entrepreneuriat

EDITION 2016

**Recherches et innovations pour l'Aliment et les Bioproduits**  
*Research & innovation for Food & Biobased Products*

**Directeur de la publication/Editor** : Michael O'Donohue, *Chef de département/Head of division*

**Comité éditorial/Editorial committee** : Cécile Barron, Rachel Boutrou, Sylvie Clerjon, Paul-Henri Ducrot, Pascale Manchado-Sarni, Jean-François Maingonnat, Gabriel Paës, Laurence Prévosto, Marie Ralet, Olivier Tranquet, Olivier Vitrac

**Conception et Réalisation/Design** : Laurence Prévosto

**Institut National de la Recherche Agronomique**  
**Département CEPIA** ♦ B.P. 71627 ♦ 44316 Nantes Cedex 03  
Tél. +33 (0)2 40 67 51 45 ♦ Fax +33 (0)2 40 67 50 06  
[cepia@nantes.inra.fr](mailto:cepia@nantes.inra.fr)

© INRA

Illustrations/*Gallery* : Photothèque INRA ou mentions contraires, *INRA Gallery or other indications*

Photo de couverture/*Frontpage picture* : Fotolia, Photothèque INRA

CEPIA en quelques chiffres	<b>3</b>	<i>The CEPIA Division in a few figures</i>
Editorial	<b>4</b>	<i>Editorial</i>
Pour une alimentation, saine, sûre, source de bien-être	<b>5</b>	<i>Food for health, safety, and well-being</i>
Utiliser des ressources renouvelables pour limiter nos impacts sur l'environnement	<b>16</b>	<i>Renewable resources for environmentally-friendly processes and uses</i>
Des résultats pour contribuer à l'innovation dans les filières économiques	<b>24</b>	<i>Results to contribute to innovation in economic sectors</i>
Investissements d'avenir	<b>30</b>	<i>The programmes «Investissements d'avenir»</i>
Plates-formes et outils collaboratifs	<b>31</b>	<i>Collaborative platforms and tools</i>
Unités Mixtes Technologiques	<b>31</b>	<i>Joint Technological Units</i>
Contactez nos unités de recherche	<b>32</b>	<i>Contact our research units</i>

### Le département CEPIA en quelques chiffres - *The CEPIA Division in a few figures*

Le département CEPIA - Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture - est l'un des 13 départements de recherche de l'Institut National de la Recherche Agronomique - INRA. Les recherches concernent les produits alimentaires et les bioproduits issus des productions agricoles (biocarburants, biomolécules, matériaux).

*The division for Science and Process Engineering of Agricultural Products (CEPIA) is one of the 13 research scientific divisions of the National Institute for Agricultural Research (INRA). CEPIA conducts its research in the sectors of food and bioproducts (biofuels, materials, biomolecules)*

**Organisation :** 22 unités dont 17 Unités Mixtes de Recherche (UMR) ou Unités sous Contrats (USC) en partenariat avec des laboratoires universitaires, des écoles du ministère de l'agriculture, des instituts de recherche comme le CNRS et le CIRAD. Un dispositif de 14 sites technologiques pour les expérimentations à l'échelle pilote dans les secteurs du lait, des céréales, de la viande, de la vigne et du vin, la chimie des lipides, ou pour les besoins analytiques dans les biopolymères, polyphénols, le criblage d'enzymes, molécules aromatiques, lipides et analyse sensorielle, l'imagerie de systèmes biologiques.

**Effectifs :** 517 agents dont 279 chercheurs et ingénieurs INRA et près de 200 enseignants-chercheurs des organismes associés.

**Budget :** une dotation de l'Etat d'environ 3 M€ et 14 M€ de ressources extérieures, auxquelles s'ajoute le financement des salaires des personnels de l'INRA pour 37 M€.

*Organization: 22 research units, of which 17 are under joint management with partner organizations such as universities, national agricultural schools (Ministry of Agriculture), or research institutes (e.g. CNRS and CIRAD). 14 facilities possess experimental platforms, such as: pilot scale facilities for dairy processes, wine production, cereal technologies, meat processing, and analytical tools for the characterization of biopolymers, polyphenols, for enzyme screening, aroma and lipid analysis, sensory image analysis and imaging of biological systems.*

*Staff: 517, including 279 INRA researchers and engineers and about 200 teacher-researchers from partner establishments.*

*Resources: INRA State fundings: approximately 40M€, other resources: 14 M€*

Dear readers,

*In May 2016, I will be taking over the direction of the CEPIA division with the important task of succeeding Monique Axelos who was able to instill a new dynamic in the dialogue with our public research partners. Thanks to actions such as this annual brochure, we have been able to keep you up to date on the key results of our teams from year to year. This «tradition» will continue for the edification of all of the researchers and engineers from other research and transfer institutions and private companies, scientific journalists, and the representatives of all of the regional, national, european and international structures that support us financially.*

*The CEPIA division reaffirms its commitment to build its research together with the concerned economic sectors, regions, and other research, development, training and teaching institutions, first, to contribute to innovation in order to provide food that is safer, healthier, a source of well-being and accessible to populations with different needs and, second, in the area of what we refer to as «bioproducts» or «biosourced products», to propose sustainable alternatives to materials and chemical molecules currently derived from fossil resources.*

*This 2016 edition contains numerous examples of a wide variety of research. It is not an exhaustive panorama but, instead, an annual update that will allow you to follow the evolution of our research and progress in terms of results. For a more comprehensive overview, check out the pages «Our results» on our Internet site: <http://www.cepia.inra.fr/en/Research/Our-results>*

Enjoy your reading !

[www.cepia.inra.fr](http://www.cepia.inra.fr)



**Michael O'Donohue**  
 Chef du département CEPIA  
 Head of the CEPIA Division  
 et/and Monique Axelos

Chers Lecteurs,

Je reprends en ce mois de mai 2016, la direction du département CEPIA avec la responsabilité de succéder à Monique Axelos qui avait su insuffler une dynamique dans le dialogue avec les partenaires de la recherche publique. En particulier, grâce à des actions telles que cette brochure annuelle qui vous permet de découvrir chaque année les résultats marquants de nos équipes. Cette « tradition » va perdurer, à l'attention de tous nos lecteurs chercheurs ou ingénieurs d'autres organismes de recherche ou de transfert, d'entreprises privées, journalistes scientifiques, mais aussi représentants de toutes les structures régionales, nationales, européennes ou internationales qui nous soutiennent financièrement.

Notre département réaffirme aussi sa volonté de co-construire ses recherches avec les filières économiques, les territoires, les autres organismes de recherche, de développement, de formation, d'enseignement pour contribuer à l'innovation, pour une offre alimentaire, plus sûre, saine, source de bien-être et accessible à des populations aux besoins différents, et dans le domaine de ce que nous appelons les « bio-produits » ou « produits biosourcés » pour proposer des alternatives durables aux matériaux, molécules chimiques, issus actuellement de ressources fossiles.

Cette édition 2016 est encore riche d'exemples divers, ce n'est pas un panorama exhaustif mais une mise à jour annuelle vous permettant de suivre comment évoluent nos recherches et nos progrès en terme de résultats. Pour en savoir plus, rendez-vous sur les pages «Nos résultats» de notre site internet : <http://www.cepia.inra.fr/Le-departement-Les-recherches/Nos-resultats>

Très bonne lecture à tous !

**Michael O'Donohue**



## 17 résultats dans ce chapitre. Vous en voulez plus ? Want to know more?

### Caroténoïdes super antioxydants et très biodisponibles

catherine.caris@avignon.inra.fr, olivier.dangles@univ-avignon.fr  
*Stability of novel bacterial carotenoids in the presence of iron in a micellar model of the gastric compartment - Comparison with common carotenoids.* C. Sy, O. Dangles, P. Borel, C. Caris-Veyrat. Archives in Biochemistry and Biophysics (2015), 572, 89-100  
*Interactions between carotenoids from marine bacteria and other micronutrients: impact on their stability and antioxidant activity.* C. Sy, O. Dangles, P. Borel, C. Caris-Veyrat. Marine Drugs, Mar. Drugs (2015), 13(11), 7020-7039

### Identifier des marqueurs de cryotolérance des bactéries lactiques

stephanie.passot@grignon.inra.fr, fernanda.fonseca@grignon.inra.fr  
*Understanding the cryotolerance of lactic acid bacteria using combined synchrotron infrared and fluorescence microscopies.* S. Passot, J. Gautier, F. Jamme, S. Cenard, P. Dumas, F. Fonseca. Analyst, (2015), 140, 5920.

### Caractérisation et propriétés des oligosaccharides des vins

thierry.doco@supagro.inra.fr  
*Complex carbohydrates of Carignan red wine : characterization of the extreme diversity of neutral oligosaccharides by ESI-MS.* T. Doco, P. Williams, E. Meudec, V. Cheynier And N. Sommerer. J. Agric. Food Chem., 63 (2015) 671-682.  
*The sensorial perception of astringency: simple prediction models based on polyphenols, oligosaccharides and polysaccharides.* J.C. Boulet, C. Trarieux, M.-A. Ducasse, S. Caille, P. Williams, T. Doco, V. Cheynier. Food Chem. 190 (2016) 357-363.

### Comprendre et expliquer la couleur des vins rosés

nicolas.sommerer@supagro.inra.fr  
*A high-throughput UHPLC-QqQ-MS method for polyphenol profiling in rosé wines.* M.Lambert, E. Meudec, A. Verbaere, G. Mazerolles, J. Wirth, G. Masson, V. Cheynier, N. Sommerer. Molecules (2015), 20 (5), 7890-7914

### Mieux voir dans le cerveau du mangeur

jean-marie.bonny@clermont.inra.fr  
*Using High Spatial Resolution to Improve BOLD fMRI Detection at 3T.* Iranpour, J., Morrot, G., Claise, B., Jean, B., Bonny, J-M. (2015). PLoS ONE 10(11): e0141358.

### Modélisation en génie des procédés par analyse dimensionnelle

Méthode et exemples résolus, Lavoisier, 2014 (FR)  
 DELAPLACE Guillaume, LOUBIÈRE Karine, DUCEPT Fabrice, JEANTET Romain

### Dimensional Analysis of Food Processes - ISTE, 2015

ISBN: 9781785480409 - <http://store.elsevier.com/Dimensional-Analysis-of-Food-Processes/Guillaume-Delaplace/isbn-9781785480409/>  
 JEANTET Romain, LOUBIÈRE Karine, DUCEPT Fabrice, DELAPLACE Guillaume



Pour une  
 alimentation,  
 saine, sûre,  
 source de  
 bien-être

Food for  
 health, safety,  
 and well-being



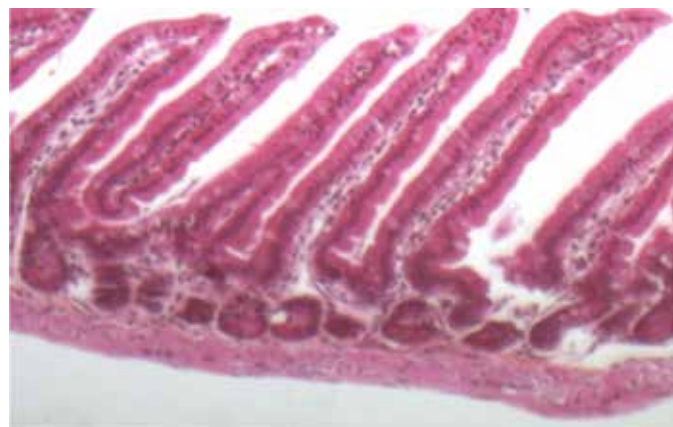
### Une exposition maternelle à des prébiotiques prévient de l'allergie alimentaire chez le nouveau-né dans un modèle souris

Les allergies alimentaires touchent 4-8 % des enfants et sont constamment à la hausse. Elles seraient liées à des perturbations de l'équilibre microbien et du système immunitaire que l'on ne sait pas prévenir. Une des pistes pour réduire le risque de développement des maladies allergiques est la modulation précoce du microbiote intestinal du nourrisson pendant la période périnatale (grossesse et allaitement) où les échanges bactériens et immuns entre la mère et le fœtus puis le nouveau-né via le sang de cordon et le lait maternel favorisent l'induction de la tolérance immunologique, l'implantation du microbiote et le renforcement de la barrière intestinale.

Nous avons étudié les effets préventifs d'un régime enrichi en prébiotiques, Inuline et Galacto-oligosaccharides (4 % de GOS et d'inuline à un ratio de 9/1) donné à des souris gestantes et allaitantes sur le développement de l'allergie alimentaire chez leurs souriceaux. Ce régime a modifié le microbiote des mères et de leurs progénitures et nous avons constaté une diminution des symptômes allergiques par la réduction des scores cliniques et de l'histamine. Cette baisse des symptômes a été associée au niveau sanguin à une diminution des marqueurs de l'allergie (IgE, cytokines IL-4 et IL-5) et à une augmentation des marqueurs des réponses anti-allergiques de type Th1 et T régulatrice (IgG2a, IFN- $\gamma$  et IgA, TGF- $\beta$ ).

La supplémentation des souris gestantes et allaitantes avec des prébiotiques non digestibles de type GOS/inuline a aussi permis de protéger leurs progénitures de l'augmentation des perméabilités intestinales et de limiter l'altération de l'épithélium intestinal lors de la réaction allergique.

Grâce à ces résultats, une étude clinique chez les femmes enceintes à risque débutera en 2016, en partenariat avec les CHU de Nantes, Angers et Tours, coordonnée par le Centre d'Investigation Clinique Femmes, Enfants & Adolescents (CIC FEA 1413) du CHU de Nantes. Elle vise à recruter des mères ayant une prédisposition génétique au développement d'allergies courantes et à les mettre sous régime GOS/inuline pendant la grossesse puis à réaliser un suivi de l'allergie chez leurs nouveau-nés. Ces travaux vont fournir des données sur les prébiotiques qui confirmeront ou infirmeront le bénéfice santé de ces ingrédients alimentaires.



Expression protéines intestinales dans le petit intestin de souris / Intestinal proteins expression in mouse intestine © Inra

### Maternal exposure to prebiotics to prevent food allergy in newborns in a mouse model

*Food allergies affect 4-8 % of all children and are constantly on the rise. They are linked to the disruption of the microbial balance and of the immune system, which we are currently unable to prevent. One way to reduce the risk of allergic disease development is to modulate early intestinal microbiota in infants during the perinatal period (pregnancy and lactation) when bacterial and immune exchanges between the mother and the fetus and then the newborn, via umbilical cord blood and breast milk, promote the induction of immunological tolerance, the establishment of the microbiota and the strengthening of the intestinal barrier.*

*We studied the preventive effects of a diet enriched with prebiotics, inulin and galacto-oligosaccharides (4 % of GOS and inulin at a ratio of 9/1), given to pregnant and lactating mice on the development of food allergy in their pups. This regime modified the microbiota of mothers and their offspring and we were able to observe a decrease of allergic symptoms through the reduction of clinical scores and histamine. This symptom decrease was associated with a decrease of allergic blood markers (IgE, cytokines: IL-4 and IL-5) and an increase of markers of anti-allergic responses such as Th1 and T regulatory responses (IgG2a, IFN- $\gamma$  and IgA, TGF- $\beta$ ).*

*The supplementation of pregnant and lactating mice with GOS/inulin non-digestible prebiotics also helped to protect their offspring from the increase of intestinal permeability and limit the alteration of the intestinal epithelium during the allergic reaction.*

*Thanks to these results, a clinical study of pregnant women at atopic risk will begin in 2016, in partnership with the University Hospital of Nantes, Angers and Tours, coordinated by the Clinical Investigation Center for Women, Children & Adolescents (CIC FEA 1413) of the University Hospital of Nantes. It aims to recruit mothers with a genetic predisposition to develop common allergies, to supplement them with GOS/inulin during pregnancy and to monitor allergies in their infants. This research will provide data that will confirm or invalidate prebiotic health benefits of these food ingredients.*

**Partenaires/Partnership :** INSERM Nantes, Equipes Pathologies bronchiques et allergies (UMR1087) et Neuropathies du système nerveux entérique et pathologies (U913), UMR INRA-Université de Nantes Physiologie des Adaptations Nutritionnelles, La laiterie de Montaigu (85)

**En savoir plus/Read more :**

G. Bouchaud, L. Castan, J. Chesne, F. Braza, P. Aubert, M. Neunlist, A. Magnan & M. Bodinier. Maternal exposure to GOS/Inulin mixture prevents food allergies and promotes tolerance in offspring in mice. 2015. *Allergy*. 2016, 71(1):68-76  
P. Gourbeyre, N. Desbards, G. Grémy, O. Tranquet, M. Champ, S. Denery-Papini and M. Bodinier. Perinatal and Postweaning Exposure to Galactooligosaccharides/Inulin Prebiotics induced Biomarkers linked to Tolerance Mechanism in a Mouse Model of strong Allergic sensitisation. *J. Agric. Food Chem.* 2013, 61 (26), 6311–6320.

**Contact :** [marie.bodinier@nantes.inra.fr](mailto:marie.bodinier@nantes.inra.fr)

INRA-Angers-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES



## Mieux comprendre la synthèse des arômes fermentaires en œnologie

La synthèse des arômes fermentaires lors de la fermentation alcoolique a un impact direct sur la qualité des vins et est donc un évènement majeur de leur élaboration. Toutefois, les poids relatifs des paramètres environnementaux et de la souche de levure, l'impact combiné des nutriments azote et lipides, sur la production de ces arômes sont encore mal connus. L'ajustement des paramètres de fermentation et le choix de la souche de levure visant à maximiser les teneurs en arômes dans les vins se font encore de manière empirique. Un enjeu commun de la recherche et de la filière était donc de mieux comprendre le métabolisme 'aromatique' des souches de levure pour adapter la gestion de la fermentation à leur physiologie.

Nous avons conduit un projet multidisciplinaire (bioprocédés, analyse du métabolisme, physiologie des micro-organismes) avec des outils de suivi en ligne de 'molécules marqueurs' et en s'appuyant sur les dernières avancées en physiologie intégrative (transcriptomique, métabolomique).

Un plan expérimental et un modèle ont permis de définir les conditions de température et de concentrations en azote et lipides optimales pour la production des arômes fermentaires pour la souche Lalvin EC1118®. L'azote est le nutriment qui a le plus grand impact sur la synthèse de ces composés volatils, en particulier sur les concentrations des esters impliqués dans l'arôme fruité. L'étude détaillée du métabolisme sous-jacent révèle que la production des esters d'éthyle est liée à la disponibilité de leurs précurseurs alors que la teneur en esters d'acétate dépend de l'activité enzymatique responsable de leur synthèse.

Nous avons comparé les performances aromatiques de souches aux propriétés aromatiques très différentes, Lalvin EC1118® et Affinity™ ECA5, qui surproduit les esters d'acétate. L'impact de la souche est systématiquement supérieur à celui des paramètres environnementaux. Le suivi en ligne a permis de déterminer les moments-clés pour le prélèvement des échantillons nécessaires pour l'analyse transcriptomique. Pour la souche Affinity™ ECA5, les résultats montrent que la modification du rendement de production des esters d'acétate n'est pas due à une modification de l'expression du gène codant pour l'enzyme responsable de la bioconversion mais plutôt à une disponibilité accrue du second précurseur de l'ester – l'acétyl coA – due à une gestion différente des lipides (en particulier les stérols).

Ce travail ouvre de larges perspectives vers une meilleure connaissance du métabolisme levurien et la mise au point de stratégies innovantes de contrôle de la fermentation, permettant à moyen terme d'optimiser le procédé œnologique. Les outils mis en place nous permettront d'étudier l'effet d'autres facteurs (ajout d'oxygène par exemple) sur la formation des arômes et de développer des modèles cinétiques associés.

## Better understanding of aroma synthesis in œnology

*The synthesis of fermentation aromas during alcoholic fermentation has a direct impact on wine quality. Nevertheless, the relative impacts of environmental parameters and the yeast strain on the production of these aromas, as well as the combined effect of nutrients – nitrogen and lipids – on aroma synthesis are poorly documented. The adjustment of the fermentation parameters and the choice of the yeast strain aimed at maximizing wine aroma concentrations are still empirical. A common challenge for researchers and winemakers is to better understand the 'aromatic' metabolism of yeast strains in order to adapt fermentation management to their physiology.*

*We carried out a multidisciplinary project (bioprocess, yeast physiology, metabolism analysis) using online monitoring tools of 'marker molecules' and the latest advances in integrative physiology (transcriptomic, metabolomic).*

*An experimental plan and a model made it possible to determine optimal temperature and concentration conditions for nitrogen and lipids for the production of fermentation aromas for the Lalvin EC1118® strain. Nitrogen is the nutrient with the highest impact on the synthesis of volatile compounds, especially concentrations of esters involved in fruity aroma. The detailed study of the yeast metabolism reveals that the production of ethyl esters is related to the availability of precursors, whereas the concentration in acetate esters depends on the enzymatic activity responsible for their synthesis.*

*We compared the performances of strains with very different aromatic properties, Lalvin EC1118® and Affinity™ ECA5 that overproduces acetate esters. The impact of the strain is systematically higher than that of environmental parameters. Online monitoring of aroma synthesis made it possible to precisely determine the sampling times for transcriptomic analyses. For the Affinity™ ECA5 strain, results show that the change in the production yield of acetate esters is not linked to the modification in the expression of the genes coding for the enzyme responsible for the bioconversion but is instead due to the higher availability of the second precursor of the esters – acetyl coA – resulting from a different management of lipids (especially sterols).*

*This research opens wide perspectives towards a better understanding of yeast metabolism and the development of innovative strategies for fermentation control, making it possible to optimize the winemaking process at mid-term. The developed tools will also allow us to study the effects of other factors (the addition of oxygen, for example) on aroma synthesis and the development of associated kinetic models.*

**Partenaires/Partnership** : Projet européen CAFE FP7/2007-2013, n°KBBE-212754 <http://www.cafe-project.org/>  
INRA PECH ROUGE Experimental Unit ; INRA Microbiology and Food Chain Division, Société Lallemand.

### En savoir plus/Read more :

Rollero S., Bloem A., Camarasa C., Sanchez I., Ortiz-Julien A., Sablayrolles J.M., Dequin S., Mouret J.R., 2015. Combined effects of nutrients and temperature on the production of fermentative aromas by *Saccharomyces cerevisiae* during wine fermentation. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, 99: 2291–2304.  
Mouret J.R., Camarasa C., Angenieux M., Aguera E., Perez M., Farines V., Sablayrolles J.M., 2014. Kinetic analysis and gas–liquid balances of the production of fermentative aromas during winemaking fermentations: Effect of assimilable nitrogen and temperature. *Food Res. Int.*, 62: 1-10.

**Contacts** : [mouretj@supagro.inra.fr](mailto:mouretj@supagro.inra.fr) ; [camarasa@supagro.inra.fr](mailto:camarasa@supagro.inra.fr)

Jean-Roch Mouret ; Carole Camarasa - SCIENCES POUR L'ŒNOLOGIE (UMR SPO)/ SCIENCES FOR ŒNOLOGY INRA - Montpellier SupAgro - Université Montpellier



## Des aliments plus attractifs pour stimuler l'alimentation des personnes âgées atteintes de troubles cognitifs

Offrir des repas attractifs pour favoriser la consommation des sujets atteints de troubles cognitifs comme la maladie d'Alzheimer constitue un réel enjeu notamment en institution gériatrique. L'alimentation doit fournir des apports nutritionnels suffisants pour cette population à risque de dénutrition, situation qui touche 15 à 38 % des personnes âgées en EHPAD\* et davantage encore ceux souffrant de troubles cognitifs.

Dans le cadre d'un travail de thèse, nous avons identifié des leviers potentiels de l'appréciation et de la consommation alimentaire chez les sujets âgés selon leur statut cognitif. Un premier axe de recherche a porté sur la compréhension des mécanismes de l'attractivité des aliments chez le sujet âgé. Les résultats montrent que des facteurs sensoriels (liés à l'aliment et ses propriétés sensorielles, tels que sa saveur ou son apparence visuelle) mais aussi des facteurs cognitifs (liés au sujet et ses représentations en mémoire, tels que la familiarité pour un aliment) participent ensemble à son appréciation.

Un second axe de recherche a été consacré à la comparaison de l'influence de la saveur, de l'apparence visuelle et de la familiarité sur l'appréciation et la consommation alimentaire de sujets âgés selon leur statut cognitif. Les résultats montrent d'une part que les facteurs sensoriels sont des facteurs d'attractivité chez les sujets âgés quel que soit leur statut cognitif et d'autre part que la familiarité n'a pas d'influence sur la consommation alimentaire des sujets souffrant de troubles cognitifs. Chez les sujets sans trouble cognitif, la familiarité, mais aussi l'accessibilité alimentaire ou la motivation à manger apparaissent comme des facteurs supplémentaires de consommation.

Le travail réalisé montre que l'appréciation pour un aliment reste un moteur de sa consommation malgré la maladie. En revanche, les facteurs de l'appréciation sont modifiés : les facteurs sensoriels, liés à l'aliment, deviennent prépondérants face aux facteurs cognitifs, liés au sujet et ses représentations en mémoire.

Un effort conjoint des politiques de prévention, des professionnels de santé, des professionnels de la restauration et des administrateurs des établissements est nécessaire pour adapter l'offre alimentaire de façon évolutive selon les spécificités engendrées par la maladie d'Alzheimer afin de redonner ou stimuler le plaisir de manger et de lutter ainsi contre le risque de dénutrition en améliorant la qualité de vie des résidents.

\* Etablissement d'hébergement pour personnes âgées dépendantes

\*\* Virginie Pouyet a obtenu la médaille d'argent de l'Académie d'Agriculture de France 2015 pour son travail.

## Attractive meals to stimulate food consumption in geriatric institutions

*Providing suitable and attractive meals is an important issue for promoting food consumption in geriatric institutions where the risk of malnutrition affects 15-38 % of the elderly, especially subjects with cognitive impairments such as Alzheimer's disease. A PhD thesis was conducted to define a model of food attractiveness and consumption in elderly subjects with differing cognitive status, based on the development of adapted methods.*

*A first research axis is dedicated to the understanding of food attractiveness in the elderly. The results show that both sensory factors (such as flavor and visual appearance) and cognitive factors (such as familiarity) contribute to food attractiveness in the elderly. A second research axis is dedicated to the comparison of the influence of flavor, visual appearance and familiarity on food consumption among elderly subjects with differing cognitive status. On the one hand, the results suggest that sensory factors contribute to food attractiveness, regardless of the cognitive status of the elderly. On the other hand, familiarity does not have an influence on food consumption for elderly subjects with cognitive impairments. For non-cognitively-impaired elderly subjects, familiarity, accessibility and motivation to eat seem to be important factors for food consumption.*

*This study shows that food attractiveness remains a driver of consumption, despite the disease. However, the factors of appreciation are modified: the sensory factors, related to the food itself, become predominant with respect to cognitive factors that are related to the subject and to his or her memories.*

*This work clearly pointed out the necessity of taking factors of food attractiveness and the cognitive status of elderly subjects living in geriatric institutions into account in order to provide adapted attractive meals that stimulate eating pleasure and thus combat malnutrition. To do this, a joint effort encompassing prevention policies, health professionals, catering professionals and administrators of geriatric institutions is necessary.*



**Partenaires/Partnership** : Centre de Recherche de l'Institut Paul Bocuse (69). Groupe ORPEA (92)

**En savoir plus/Read more** : Pouyet, V. (2015). Attractivité des aliments et consommation alimentaire chez les personnes âgées selon leur statut cognitif. Thèse de doctorat, ABIES - AgroParisTech, Paris.

Pouyet, V., Cuvelier, G., Benattar, L., & Giboreau, A. (2015). Influence of flavour enhancement on food liking and consumption in older adults with poor, moderate or high cognitive status. *Food Quality and Preference*, 44, 119–129.

**Contacts** : [gerard.cuvelier@agroparisstech.fr](mailto:gerard.cuvelier@agroparisstech.fr)

INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING AgroParisTech - INRA - CNAM, MASSY



# ALIMENTATION

## Food

### Jus et cidres rosés. La question de la stabilité de la couleur

Avec l'incorporation de variétés de pommes à chair rouge, les producteurs de cidres rosés rencontrent des problèmes de stabilité de la couleur des cidres.

Nous avons étudié un cultivar à chair rouge pour sa composition en polyphénols et pour la stabilité des anthocyanes une famille de composés phénoliques qui apporte la couleur rouge/rosée du moût. Les fruits sont très riches en polyphénols (0,5 g/100 g poids frais), avec anthocyanes et tanins comptant jusqu'à 9 et 73 % du total des polyphénols. Le taux d'extraction des anthocyanes dans le moût est de 26 % mais un pH plus élevé et la présence d'oxygène sont des facteurs défavorables à la stabilité de la couleur. Ainsi, le stockage du jus (35°C, pH 4,4) en présence d'oxygène provoque une perte de 86 % des anthocyanes après 14 jours.

Nous avons ensuite établi un profilage fin par HPLC-UV-MS des composés phénoliques des moûts de 17 variétés à chair rouge et estimé la stabilité de leur couleur, sous l'action de la polyphénol oxydase (PPO) lors des premières étapes de transformation du fruit.

Nous nous intéressons maintenant à l'étude des étapes de fermentation et de maturation qui affectent aussi la couleur avec la formation de nouveaux dérivés rouge-orangé.

### Rosé cider and juices. The issue of color stability

*With the incorporation of red-fleshed apple varieties, rosé cider producers are faced with problems related to the stability of the pink color during juice extraction, fermentation and storage.*

*We studied a red-fleshed cultivar in terms of its detailed polyphenol composition and the stability of the anthocyanins in the must. Fruits were highly concentrated in polyphenols (0.5 g/100 g FW), anthocyanins and condensed tannins, accounting for 9 and 73% of total polyphenols, respectively. The anthocyanin extraction rate was close to 26%. However, high pHs and the presence of oxygen were key factors responsible for color degradation. For instance, juice storage (35°C, pH 4.4) in the presence of oxygen resulted in 86% anthocyanin degradation after 14 days.*

*More recently, the 17 red-fleshed cultivars were screened for their polyphenol profiles in the must using HPLC coupled with UV-visible and mass spectrometry, and the enzymatic degradation of the color by polyphenoloxidase was also measured.*

*Future research will focus on the stages of fermentation and maturation that also affect the color with the formation of new red-orange derivatives.*



### Les arômes au secours des aliments réduits en gras et sel

Développer des produits appréciés par les consommateurs tout en réduisant la teneur en sodium et matières grasses est un challenge. Nos recherches sur les interactions entre modalités sensorielles montrent que des arômes associés au gras ou au sel peuvent renforcer la perception du contenu en matières grasses ou en sel des aliments.

Nous avons fait déguster à 31 consommateurs des fromages modèles de composition variable : teneurs en matière grasse et en sel, niveaux de pH à l' emprésurage, aromatisation avec un arôme sardine ou un arôme beurre.

- L'arôme sardine a augmenté significativement l'intensité de la saveur salée pour tous les produits hormis celui ayant la plus forte teneur en sel et en matière grasse et le niveau élevé de pH à l' emprésurage.
- L'arôme beurre a renforcé la perception du contenu en matières grasses de manière inégale selon les produits.

L'impact de la composition et/ou de la structure de la matrice alimentaire apparaît plus complexe sur la perception du gras que du salé. Une augmentation du pH à l' emprésurage, donc de la fermeté des produits, diminue le renforcement de la perception du gras sauf pour les produits à taux de sel et matière grasse élevés.

### Aromas to the rescue of low-fat and low-salt foods

*Reducing sodium and fat content in foods raises the challenge of developing products that meet with the consumer's approval. Our research on interactions between sensory modalities shows that aromas associated with fat or salt can enhance the perception of fat or salt content in foods.*

*A tasting panel of 31 consumers sampled model cheeses that varied in composition: fat and salt content, pH at renneting, and the addition of sardine or butter aroma.*

- *The sardine aroma significantly increased salty taste in all products except the one with the highest salt and fat contents and the highest pH at renneting.*
- *The butter aroma reinforced the perception of fat content unevenly across products.*

*The impact of composition and/or food matrix structure appears more complex on the perception of fat compared to salt. Increasing pH at renneting increased product firmness and decreased the level or aroma-induced fat perception enhancement, except for the cheeses with a high salt and fat content.*

**Partenaires/Partnership :** SCIENCES POUR L'ŒNOLOGIE (UMR SPO)/ SCIENCES FOR ŒNOLOGY ; SÉCURITÉ ET QUALITÉ DES PRODUITS D'ORIGINE VÉGÉTALE (UMR SQPOV)/ SAFETY & QUALITY OF PLANT PRODUCTS  
Institut de Recherche en Horticulture et Semences (INRA, AGROCAMPUS OUEST, Université d'Angers) pour la mise à disposition de cultivars à chair rouge/red-flesh cultivars provided by Institut de Recherche en Horticulture et Semences  
Projet APRO, financé par la région Bretagne en collaboration avec l'IFPC Institut Français des Production Cidricoles/Funded by the Region Bretagne with the support of the French Institut for Cider Productions

**En savoir plus/Read more :** Malec, M.; Le Quere, J. M.; Sotin, H.; Kolodziejczyk, K.; Bauduin, R.; Guyot, S., Polyphenol Profiling of a Red-Fleshed Apple Cultivar and Evaluation of the Color Extractability and Stability in the Juice. J. Agric. Food Chem. 2014, 62, 6944-6954.

**Contacts :** [sylvain.guyot@rennes.inra.fr](mailto:sylvain.guyot@rennes.inra.fr); [jean-michel.lequere@rennes.inra.fr](mailto:jean-michel.lequere@rennes.inra.fr)  
INRA-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES - Domaine de la Motte, 35653 Le Rheu Cedex

**Partenaires/Partnership :** Projet européen TeRiFiQ FP7 KBBE2011-5-289397  
<http://www.terifiq.eu/>

#### En savoir plus/Read more :

A. Syarifuddin, C. Septier, C. Salles, T. Thomas-Danguin. Reducing salt and fat while maintaining taste: An approach on a model food system. Food Quality and Preference, 2016, 48, 59-69.

#### Contacts :

[christian.salles@dijon.inra.fr](mailto:christian.salles@dijon.inra.fr) ; [thierry.thomas-danguin@dijon.inra.fr](mailto:thierry.thomas-danguin@dijon.inra.fr)  
CENTRE DES SCIENCES DU GOUT ET DE L'ALIMENTATION (UMR CSGA) / CENTRE FOR TASTE & FOOD SCIENCE, CNRS-INRA - Université de Bourgogne



### Optimiser le barattage des viandes

Certains produits carnés, dont le jambon cuit, subissent une étape de barattage car le malaxage des pièces de viande avec une saumure améliore la pénétration des ingrédients, le rendement de cuisson et les qualités organoleptiques du produit fini.

Nous avons construit en laboratoire un instrument qui simule par une succession de compressions brèves (< 0.2 s) les chutes des pièces de viande (hauteur de 0.2 à 1 m) dans une baratte et les déformations ainsi subies. L'énergie mécanique dissipée, due à la viscosité du tissu musculaire, est calculée à partir du diagramme force-déformation mesuré lors de chaque compression.

Nous avons établi que la diffusivité du sel dans le tissu musculaire est fortement augmentée par l'action mécanique et que cette action induit par elle-même la solubilisation et la dénaturation des protéines, deux propriétés biochimiques connues pour déterminer le rendement de cuisson et la texture des produits carnés cuits.

En contrôlant les variables qui déterminent la déformation des pièces de viande (temps de malaxage, diamètre des barattes, nombre et fréquence des chutes, taille des morceaux) ce simulateur permet de rationaliser la recherche des conditions de fonctionnement optimales en fonction des formulations, de la taille des produits et des dimensions des barattes.

#### En savoir plus/Read more :

Daudin, J.D. *et al.* (2016). Design of a new laboratory tumbling simulator for chunked meat: analysis, reproduction and measurement of mechanical treatment. *Journal of Food Engineering*, 170, 83-91.  
Sharedeh, D., *et al.* Analysis of salt penetration enhancement in meat tissue by mechanical treatment using a tumbling simulator. *Journal of Food Engineering*, 166 (2015) 377-383.

#### Contact :

[jean-dominique.daudin@clermont.inra.fr](mailto:jean-dominique.daudin@clermont.inra.fr)

QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX (UR QUAPA) INRA Auvergne-Rhône-Alpes/  
ANIMAL PRODUCT QUALITY

### Optimization of meat tumbling

*During the manufacturing of some meat products such as cooked ham, tumbling is a key step; massaging of meat pieces with brine improves the penetration of ingredients, cooking yield and the organoleptic qualities of the final product.*

*We built a laboratory device that simulates the fall of meat pieces in industrial tumblers (fall height from 0.2 to 1 m) via a series of short compressions (< 0.2 s) and the subsequent deformations. The mechanical energy dissipated due to the viscous property of meat tissue is calculated from the force-deformation diagram measured during each deformation. We have shown that the diffusivity of salt in the muscle tissue is strongly increased by this mechanical action and that this action in itself leads to protein solubilization and denaturation, two biochemical properties that are known to impact cooking yield and cooked product texture.*

*By controlling the variables that determine the deformation of meat pieces (tumbling time, tumbler diameter, number and frequency of falls, size of pieces), this simulator makes it possible to streamline the definition of optimal operating conditions according to formulation, product size and tumbler dimensions.*



### Grill, four, poêle... quelle cuisson pour une viande « saine » ?

La cuisson des aliments génère des constituants volatils à l'origine de leur arôme et potentiellement des composés toxiques comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques.

La chromatographie bidimensionnelle - couplée à la spectrométrie de masse à temps de vol - a été mise en œuvre pour cartographier les 16 principaux hydrocarbures aromatiques poly-cycliques (HAP) susceptibles d'être retrouvés dans la viande cuite. En parallèle, les 68 composés à l'origine de l'odeur/arôme de ces mêmes produits cuits ont été mis en évidence par une combinaison de techniques: chromatographie en phase gazeuse mono ou bidimensionnelle et flairage par un panel de 8 juges entraînés (GC-Olfactométrie « Haute Résolution »).

Nous avons ainsi comparé les conséquences sanitaires et sensorielles de 9 modes de cuisson (cuisson à la poêle, au four, au grill, au micro-onde...). Les modes de cuisson les plus intenses favorisent clairement la formation de molécules toxiques délétères comme le benzo-a-pyrene et celle de composés responsables de notes odorantes qui peuvent être recherchées par le consommateur comme des pyrazines, des carbonyles et des molécules soufrées.

Ces nouveaux outils conduisent à proposer des conditions de cuisson limitant la production de ces composés toxiques tout en préservant les propriétés organoleptiques.

### Grill, oven, frying pan... what is the best way to cook «healthy» meat?

*Volatile components responsible for aroma as well as for potentially toxic compounds such as polycyclic aromatic hydrocarbons are generated when food is cooked.*

*Comprehensive two-dimensional chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry was implemented to map the 16 main polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) that may be found in cooked meat. In parallel, 68 compounds responsible for the odor/flavor of these cooked products were identified by a combination of techniques: one- or two-dimensional gas chromatography and smelling by a panel of eight trained judges (high-resolution GC-Olfactometry).*

*We thus compared the health and sensory consequences of nine cooking methods (pan-frying, oven, grill, microwave, etc.). The most intense cooking methods clearly favor the formation of toxic molecules such as benzo[a]pyrene and the compounds responsible for odor notes that can be sought by the consumer, such as pyrazines, carbonyls and sulfur molecules.*

*These new tools should lead to the proposal of cooking conditions that will limit the production of these toxic compounds while preserving their organoleptic properties.*

**Partenaires/Partnership :** Cette étude a été financée par l'INRA et la Région Auvergne /FEDER, dans le cadre des séjours post-doctoraux d'Anupam GIRI et de et de Weeraya KHUMMUENG / Post-doctoral positions Funded by INRA and Région Auvergne-FEDER

**En savoir plus/Read more :** Giri A., Khummueng W., Mercier F., Kondjoyan N., Tournayre P., Meurillon M., Engel E. Relevance of two-dimensional gas chromatography and high resolution olfactometry for the parallel determination of heat-induced toxicants and odorants in cooked food. *Journal of Chromatography A*, 1388 (2015) 217-226.

**Contact :** [erwan.engel@clermont.inra.fr](mailto:erwan.engel@clermont.inra.fr)

QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX (UR QUAPA) INRA Auvergne-Rhône-Alpes/  
ANIMAL PRODUCT QUALITY





## Un nouvel outil pour étudier la diffusion de macromolécules dans des aliments

Lors de la coagulation du lait, les microorganismes sont immobilisés sous forme de colonies emprisonnées au sein d'une matrice gélifiée dans laquelle les phénomènes de diffusion des substrats et des métabolites issus de l'activité des microorganismes et de leurs enzymes pourraient être des facteurs limitants de la cinétique d'affinage, et donc de la qualité organoleptique des fromages.

Grâce à la technique de recouvrement de fluorescence après photoblanchiment (FRAP), nous avons montré que la diffusion de dextrans (polysaccharides) de taille comprise entre 4 et 2000 kDa, dans des matrices fromagères modèles (gel de caséines) est ralentie par rapport à leur diffusion en solution, avec un facteur d'obstruction quasiment constant. Dans des fromages commerciaux de type pâte molle à pâte pressée cuite les coefficients de diffusion de dextrans de 10 à 500 kDa sont du même ordre de grandeur que dans les matrices modèles ( $0,1-20 \mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

L'obstruction à la diffusion de ces molécules dépend principalement de l'eau disponible, variable selon le type de fromages et leur degré d'affinage. Nous avons ainsi mis en évidence des différences de comportement de diffusion dues principalement à des différences de densité de réseaux protéiques des matrices selon leur technologie de fabrication.

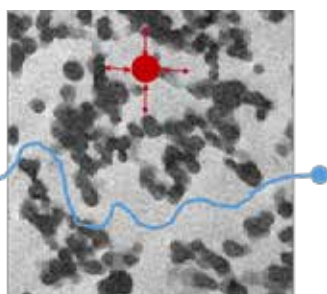
Illustration : Diffusion d'un dextran neutre (bleu) vs d'une protéine chargée (rouge) à travers les pores du fromage modèle (observé en microscopie électronique à transmission) / Diffusion of neutral-dextran (blue) vs charged-protein (red) through the pores of the model cheese (observed by transmission electron microscopy).

## A new tool to study the diffusion of macromolecules in food

*During the coagulation of milk, microorganisms are immobilized as colonies trapped within a gel matrix in which the diffusion phenomena of substrates and metabolites, resulting from the activity of microorganisms and their enzymes, could limit ripening kinetics and, therefore, the organoleptic quality of cheese.*

*Using the technique of fluorescence recovery after photobleaching (FRAP), we showed that the diffusion of dextrans (polysaccharides) with a size ranging between 4 and 2,000 kDa in model cheeses (casein gels) is slower than their diffusion in solution, with an almost constant obstruction factor. In soft to hard-type commercial cheeses, dextran diffusion coefficients from 10 to 500 kDa are on the same order of magnitude as in model cheeses ( $0.1-20 \mu\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).*

*Obstruction of the diffusion of these molecules mainly depends on the water available, which depends on the type of cheese and ripening age. We also highlighted that the different diffusion behaviors were mainly due to the different protein network densities of the matrices obtained according to their manufacturing technology (soft to hard cheeses).*



## De nouvelles cibles moléculaires pour améliorer la valeur semoulière du maïs

La filière maïs Européen souhaite développer des hybrides combinant un bon rendement agronomique avec des qualités texturales adaptées au procédé cornflakes. Or c'est la vitrosité du maïs qui détermine le rendement en hominies, grosses particules vitreuses utilisées pour la fabrication des cornflakes.

Nous avons établi le rôle clé du métabolisme lipidique dans la structuration de l'amidon et de la matrice amylo-protéique du grain. Un phospholipide piégé au sein de l'amidon, la lysophosphatidylcholine (lysoPC), est en concentration plus élevée dans la fraction vitreuse que dans la fraction farineuse de l'albumen. Sa teneur est étroitement associée à celle de son précurseur la phosphatidylcholine, composant majeur des membranes du réticulum endoplasmique où se déroule la synthèse des protéines de réserve. Il apparaît ainsi que les lipides, qui représentent moins de 1 % de l'albumen, sont d'excellents marqueurs de la construction de la vitrosité et des processus métaboliques complexes contrôlant l'accumulation des réserves protéiques et amyliées.

Une analyse transcriptomique est en cours afin d'identifier les gènes responsables de l'accumulation des lipides piégés au sein de l'amidon, ce qui permettra de développer de nouveaux outils génétiques pour la sélection de maïs adaptés à la technologie semoulière.

## New molecular targets to improve the semolina quality of maize

*The European maize sector is interested in developing hybrids that combine good agronomical yield and textural properties adapted to the cornflake production process. In fact, it is the vitreousness of the maize that determines the production of hominies, large vitreous particles used to make cornflakes.*

*We highlighted the key role of lipid metabolism on starch architecture and assembly of the endosperm starch-protein matrix. A phospholipid embedded within the starch granule, i.e., lysophosphatidylcholine (lysoPC), is more concentrated in the vitreous than in the floury fraction of the endosperm. Its content is closely related to the content of its phosphatidylcholine precursor, the major compounds of endoplasmic reticulum membranes where storage protein synthesis occurs. Therefore, lipids, which account for less 1% of dry endosperm, are excellent markers of vitreousness and of metabolic processes that control the storage of starch and proteins.*

*A transcriptomic analysis is ongoing to identify the genes responsible for the accumulation of lipids within the starch granule for the purpose of developing genetic tools for maize breeding adapted to semolina technology.*

**Partenaires/Partnership :** Projet FUI GranoFlakes (pôle Céréales Vallée) limagrain, Clextral, Veodis 3D, INRA Nantes et Montpellier INGENIERIE DES AGROPOLYMERES ET TECHNOLOGIES EMERGENTES (UMR IATE)

**En savoir plus/Read more :** Gayral M, Bakan B, Dalgalarrondo M, Elmorjani K, Delluc C, Brunet S, Linossier L, Morel MH, & Marion D. Lipid partitioning in maize (*Zea mays* L.) endosperm highlights relationships among starch lipids, amylose, and vitreousness. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015, 63 (13):3551-3558.

Gayral M. (2015) Bases moléculaires et physicochimiques de la vitrosité du maïs, Thèse de doctorat, Université de Nantes, soutenue le 4 décembre 2015.

**Contact :** didier.marion@nantes.inra.fr

INRA-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES

**Partenaires/Partnership :** Plate-forme «Microscopy - Rennes Imaging Center» (MRic) - INRA-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES

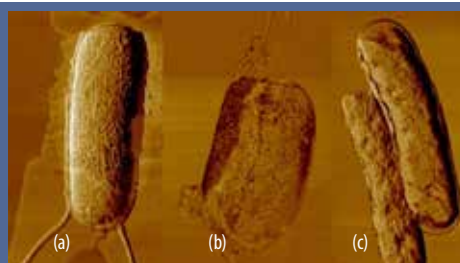
**En savoir plus/Read more :** J. V. C. Silva, S. Pezennec, S. Lortal, J. Flourey. Flexibility and charge of solutes as factors that determine their diffusion in casein suspensions and gels. *J. Agric. Food Chem.*, 2015, 63 (29), 6624-6632

A. L. Chapeau, J. V. C. Silva, P. Schuck, A. Thierry, J. Flourey. The influence of cheese composition and microstructure on the diffusion of macromolecules: A study using Fluorescence Recovery After Photobleaching (FRAP). *Food Chemistry*., 2016 192, 660-667.

**Contact :** juliane.flourey@agrocampus-ouest.fr

INRA-AgroCampus Rennes SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO)/ SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG





Effets du lysozyme sur les membranes d'*E. coli* visualisés par microscopie à force atomique / Effects of lysozyme on *E. coli* membranes by AFM (a) *E. coli* K12, (b) with native lysozyme, (c) with dry-heated lysozyme

## La température et le cholestérol façonnent la membrane des globules gras du lait

La membrane biologique qui entoure les globules gras du lait est un assemblage complexe de lipides et de protéines peu connu malgré son implication dans des propriétés techno-fonctionnelles et dans les mécanismes de digestion des lipides.

Nous y avons révélé la présence de domaines lipidiques riches en sphingomyéline, lipide saturé généralement ordonné, dispersés dans une phase fluide désordonnée. Grâce à la haute résolution de la microscopie à force atomique, nous avons montré que cette hétérogénéité structurale s'accompagne d'une hétérogénéité mécanique des membranes, modulée par la température et la présence de cholestérol. Pour les températures supérieures à 35°C, les bicouches de lipides polaires laitiers sont uniformes. En dessous de 35°C, nous avons observé la formation de domaines de plusieurs  $\mu\text{m}^2$  qui dépassent d'environ 0,9 nm au-dessus de la phase fluide. Ces domaines présentent une résistance à la rupture élevée par rapport à la phase fluide et induisent donc une hétérogénéité mécanique dans la membrane. Nous avons également montré que le cholestérol, par son effet condensateur et son rôle fluidifiant, disperse ces domaines, diminue leur taille et augmente leur nombre, abolissant ainsi progressivement l'hétérogénéité structurale et mécanique des membranes. L'ensemble de ces travaux nous a permis de proposer un nouveau modèle d'organisation de la membrane des globules gras, et ouvre la voie à la fabrication de globules gras biomimétiques.

**En savoir plus/Read more :** Murthy A.V.R, F. Guyomarc'h, G. Paboeuf, V. Vié & C. Lopez (2015) Cholesterol strongly affects the organization of lipid monolayers studied as models of the milk fat globule membrane: condensing effect and change in the lipid domain morphology. *BBA: Biomembranes*, 1848: 2308-2316. Lopez C., C. Cauty & F. Guyomarc'h (2015) Organization of lipids in milks, infant milk formulas and various dairy products: role of technological processes and potential impacts, *Dairy Sci. & Technol.*, 95, 863-893

**Contacts :** [christelle.Lopez@rennes.inra.fr](mailto:christelle.Lopez@rennes.inra.fr), [fanny.guyomarch@rennes.inra.fr](mailto:fanny.guyomarch@rennes.inra.fr)  
INRA-AgroCampus Rennes SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO)/ SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG

## Temperature and cholesterol shape the milk fat globule membrane

The biological membrane that envelops the milk fat globule is a complex assembly of lipids and proteins, poorly known in spite of its involvement in the techno-functional properties and the digestion mechanisms of milk lipids.

We revealed the presence of lipid domains rich in sphingomyelin, a generally ordered lipid with a high transition temperature, dispersed in a disordered fluid phase. Using high-resolution atomic force microscopy, we showed that this lateral heterogeneity of the milk fat globule membrane is coupled with the heterogeneous mechanical resistance of the membranes and depends on temperature and the presence of cholesterol. At temperatures higher than 35°C, the bilayers of milk polar lipids are uniform. Below that temperature, we observed the formation of  $\mu\text{m}^2$ -scale domains that protrude above the fluid phase by approximately 0.9 nm. These domains exhibit a higher resistance to rupture than that of the fluid phase and thereby account for the mechanical heterogeneity of the membrane. As a result of its fluidizing and condensing effects, the cholesterol disperses the domains, making them smaller and more numerous, and gradually eliminates the structural and mechanical heterogeneity of the membranes.

This research led to the proposal of an updated model for the organization of the milk fat globule membrane and opens the way to the design of biomimetic fat globules.

## Le lysozyme perturbe les membranes des bactéries Gram négative

Les protéines et peptides antimicrobiens ciblant les membranes bactériennes sont des antimicrobiens naturels limitant le développement de la résistance des bactéries. Le lysozyme est connu pour son activité lytique de la paroi des bactéries Gram+ et plus récemment mis en évidence, vis-à-vis des bactéries Gram-.

Nous avons démontré que le lysozyme induit la formation de pores dans la membrane externe d'*E. coli*. Les molécules de lysozyme libres en solution ont alors accès à la membrane cytoplasmique qu'elles perméabilisent par la formation de canaux ioniques. Par ailleurs, le lysozyme s'insère dans des monocouches de lipopolysaccharides (modèle de la membrane externe d'*E. coli*), induisant leur réorganisation ; celle-ci pourrait correspondre à une étape préliminaire à la formation des pores observés *in vivo*. Le lysozyme peut également s'insérer dans une monocouche phospholipidique (modèle de la membrane cytoplasmique d'*E. coli*) en y induisant une réorganisation des têtes lipidiques.

Les perturbations induites *in vivo* et *in vitro* sont accentuées lorsque le lysozyme est préalablement chauffé à l'état sec. La protéine ainsi modifiée provoque chez les bactéries des défauts morphologiques sévères. Les paramètres physicochimiques déterminants de l'activité antimembranaire du lysozyme restent à identifier.

## Lysozyme disturbs the membrane integrity of Gram-negative bacteria

Proteins and peptides that disturb bacterial membranes are good candidates for novel and natural antimicrobial molecules that can limit the development of bacterial resistance. Lysozyme is known for its lytic activity against the cell wall of Gram-positive bacteria and, more recently, for its role against Gram-negative bacteria.

We demonstrated that lysozyme creates large-size pores in the outer membrane of *E. coli*. The lysozyme molecules that remain "free" in the solution can then reach and permeabilize the inner membrane due to the formation of ionic channels. Moreover, lysozyme inserts itself into the lipopolysaccharide monolayer (model of the outer membrane of *E. coli*), leading to its reorganization; this could correspond to the step preceding pore formation observed *in vivo*. Lysozyme can also insert itself into a phospholipid monolayer (model of the cytoplasmic membrane of *E. coli*), and thus result in the reorganization of lipid packing.

The disturbances observed *in vivo* and *in vitro* are more pronounced when lysozyme is dry-heated beforehand. The modified protein then leads to extreme morphological defects in bacteria. The physicochemical parameters that determine the membrane activity of lysozyme have yet to be identified.

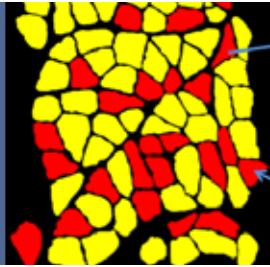
**Partenaires/Partnership :** Thèse de Melanie Derde (2011-2014) financée par le Conseil Régional de Bretagne, en collaboration avec l'Institut de Physique de Rennes/Mélanie Derdre PhD, funded by Région Bretagne in partnership with the Institut de Physique of Rennes

**En savoir plus/Read more :** Derde M., Guérin-Dubiard C., Lechevalier V., Cochet M.F., Jan S., Baron F., Gautier M., Vié V., Nau F. (2014) Dry-heating of lysozyme increases its activity against *Escherichia coli* membranes. *J. Agric Food Chem*, 62(7), 1692-1700.

Derde M., Nau F., Lechevalier V., Guérin-Dubiard C., Paboeuf G., Jan S., Baron F., Gautier M., Vié V. (2015) Native lysozyme and dry-heated lysozyme interactions with membrane lipid monolayers: lateral reorganization of LPS monolayer, model of the *Escherichia coli* outer membrane. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1848, 174-183.

**Contact :** [francoise.nau@agrocampus-ouest.fr](mailto:francoise.nau@agrocampus-ouest.fr)

INRA-AgroCampus Rennes SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO)/ SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG



### L'autofluorescence des fibres musculaires varie avec leurs types métabolique et contractile

Le muscle squelettique est composé de 4 types de cellules musculaires dont la proportion est muscle dépendante. Il est important de pouvoir identifier ces types cellulaires car ils conditionnent de nombreuses qualités de la viande.

La capacité d'autofluorescence des molécules intracellulaires a été exploitée pour tenter de discriminer les différents types de fibres musculaires par microspectroscopie de fluorescence UV couplée au rayonnement synchrotron.

Grâce à ce couplage original spectromètre/microscope, il est possible d'acquérir des spectres de fluorescence sur une coupe histologique en ciblant des composés d'intérêt. Des cellules musculaires préalablement identifiées sur leur type par immunohistologie ont été excitées à la longueur d'onde de 275 nm par un faisceau synchrotron.

Les fibres musculaires présentent des variations d'intensité de fluorescence dépendantes du type de fibres à 302, 325, 346 et 410 nm, le rapport 410/325 étant particulièrement discriminant ( $p < 0,01$ ) dans le muscle EDL (extensor digitorum longus). De même, le rapport 346/302 des fibres à contraction rapide est moins élevé que celui des fibres à contraction lente dans l'EDL et le soleus ( $p < 0,01$ ). Ces variations sont expliquées par les différences de compositions spécifiques à chaque type de fibre.

Cette collaboration entre l'INRA et le synchrotron SOLEIL a démontré la faisabilité d'une méthode de typage simple, rapide et peu onéreuse ; les longueurs d'onde étant définies, le transfert vers un capteur bas coût est maintenant possible.

### The autofluorescence of muscle fibers varies with their contractile and metabolic type

*Skeletal muscle is composed of four types of muscle cells whose proportion depends on the muscle considered. It is important to identify these cell types since they govern many qualities of meat.*

*The fluorescence ability of intracellular molecules has been used to discriminate the different types of muscle fibers by deep UV fluorescence microspectroscopy and synchrotron radiation. Microscopy associated with a fluorescence spectrometer makes it possible to acquire fluorescence spectra on a histological section that targets compounds of interest. Muscle cells previously identified according to their type by immunohistology were excited at a wavelength of 275 nm using the synchrotron beam. Muscle fibers exhibit fluorescence intensity that depends on the fiber type at 302, 325, 346 and 410 nm, the 410/325 ratio being particularly discriminating ( $p < 0.01$ ) in the extensor digitorum longus muscle (EDL). Similarly, the 346/302 ratio of fast-twitch fibers is lower than that of slow-twitch fibers in the EDL and soleus ( $p < 0.01$ ). These variations can be explained by differences in the composition of each fiber type.*

*This collaboration between INRA and the SOLEIL synchrotron demonstrated the feasibility of an easy, quick and inexpensive method that made it possible to identify muscle fiber types. Now that the wavelengths have been defined, the transfer to a low cost sensor is thus possible.*

### Les pratiques culturales affectent moins la qualité et la quantité des polyphénols des pommes que la variété et l'année de production

Les pratiques culturales dans les vergers de pommes modifient-elles la qualité des fruits, leur teneur en sucre, leur acidité, voire leur potentiel nutritionnel, c'est-à-dire la quantité et la qualité des polyphénols présents dans le fruit ?

Nous avons caractérisé 3 variétés de pommes (Ariane, Melrose et Smoothee) produites selon 3 modes de culture : conventionnel, agriculture biologique, bas-intrants (réduction des intrants en azote et eau) au cours de 3 années de récoltes (2011 à 2013). L'analyse multivariée montre que les facteurs qui affectent le plus les critères de qualité étudiés, à la fois dans la peau et la pulpe du fruit, sont en premier lieu la variété du fruit et l'année de récolte, il apparaît ainsi que le mode de culture a finalement peu d'influence (ou n'a pas d'influence) sur ces critères.

Nous appliquons ce protocole à d'autres types de fruits (pêches) afin de savoir si ces résultats peuvent-être validés sur d'autres productions fruitières.

### Management systems in apple orchards less influence the polyphenols quality and quantity than the cultivars and the yearly conditions

*Does the management system in apple orchards influence fruit quality, sugar content, acidity and even nutritional potential, i.e., the quantity and quality of polyphenols in the fruit?*

*We characterized three apple cultivars (Ariane, Melrose and Smoothee) managed under three different management systems: organic, low-input (reduction of nitrogen and water inputs) and conventional, over the course of three years (2011, 2012 and 2013). Multivariate analyses revealed that the factors that have the greatest effect on the quality criteria studied, in both the skin and the pulp, were by far the cultivar and the harvest year, whereas the management system had a very limited influence (or no influence) on these criteria.*

*We are now applying this protocol to other types of fruit (peaches) to see if these results can be validated on other fruit crops.*



(c) emplettes-paysannes.fr

**Partenaires/Partnership** : Thèse de Caroline Chagnot 2014, supervisée par les unités Qualité des produits animaux et Microbiologie de l'INRA Auvergne-Rhône-Alpes/This work is part of the Caroline Chagnot PhD Thesis, under the supervision of INRA's Animal Product Quality and Microbiology at Clermont-Ferrand. Synchrotron SOLEIL, Gif sur Yvette, France, Frédéric Jamme, Matthieu Réfrégiers, Unité Microbiologie, INRA Auvergne-Rhône-Alpes, Mickael Desvaux

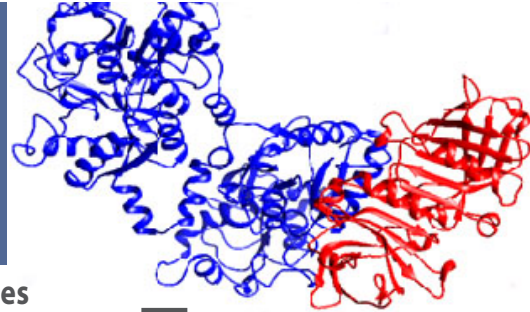
**En savoir plus/Read more** : Chagnot, C., Vénien, A., Peyrin, F., Jamme, F., Réfrégiers, M., Desvaux, M., Astruc, T. Deep UV excited muscle cell autofluorescence varies with the fibre type. *Analyst*, 2015, 140, 4189–4196.

**Contact** : [thierry.astruc@clermont.inra.fr](mailto:thierry.astruc@clermont.inra.fr), INRA-QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX (UR QUAPA) INRA Auvergne-Rhône-Alpes/ANIMAL PRODUCT QUALITY

**En savoir plus/Read more** : Le Bourvellec C., Bureau S., Renard C.M.G.C., Plenet D., Gautier H., Touloumet L., Girard T., Simon S. Cultivar and year rather than agricultural practices affect primary and secondary metabolites in apple fruit. *PLoS One*, 2015, 10, e0141916.

**Contact** : [carine.lebourvellec@avignon.inra.fr](mailto:carine.lebourvellec@avignon.inra.fr)  
INRA-UNIVERSITE D'AVIGNON SECURITE ET QUALITE DES PRODUITS D'ORIGINE VEGETALE (UMR SQPOV)/SAFETY & QUALITY OF PLANT PRODUCTS INRA-Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse





## Pour un cake moelleux For a moist cake

D'aliment de première nécessité, les produits céréaliers ont évolué vers un statut d'aliment plaisir intégré aux repas. Dans ce contexte la propriété de la texture de ces aliments plaisir comme le cake influence fortement le choix du consommateur. Par une approche multi-échelle, du macroscopique au moléculaire sur des systèmes modèles de complexité croissante, nos travaux ont lié cette texture aux interactions entre les ingrédients pendant la cuisson, à la disponibilité de l'eau et aux conditions de stockage.

Au cours de la cuisson de la pâte, les interactions entre les ingrédients contrôlent les températures de gélification de l'amidon et de dénaturation des protéines. Ces transitions de phase ont lieu à une température plus élevée en présence du sucre qui contrôle la disponibilité de l'eau dans un système peu hydraté tel que celui de la pâte à cake. Leur rôle est fondamental pour expliquer la transition pâte-mie.

Enfin, l'étude d'effet de la température de stockage pendant le rassissement montre une meilleure conservation des cakes à 4°C, paradoxalement à la littérature où il est démontré que le rassissement du pain augmente lors du stockage à basse température.

*Originally a basic staple, cereal products have developed into pleasure foods that are now part of our daily meals. In this context, the textural properties of pleasure foods such as cake strongly influence the consumer's choice. Using a multi-scale approach, from the macroscopic to the molecular level using increasingly complex model systems, our work has linked this texture to the interactions between the ingredients during baking, to water availability and to storage conditions.*

*During the actual baking of the batter, the interactions between the ingredients control the temperature of starch gelatinization and protein denaturation. These phase transitions take place at higher temperatures in the presence of sugar, which controls the availability of water in a lowly hydrated system such as cake batter. Their role is fundamental to explain the batter-crumbs transition.*

*Finally, the study of the effect of storage temperature during the staling process reveals a better conservation of cakes at 4°C, in contrast to the literature where it is shown that the staling of bread increases during storage at low temperatures.*

## Deux protéines et de multiples assemblages

La maîtrise des interactions qui se produisent entre les protéines du lait sous l'influence des processus de transformation est primordiale pour l'élaboration des produits et le contrôle des procédés. Ces interactions modulables rendent possible la génération « à façon » d'assemblages pour des applications variées.

Au travers de l'interaction entre divers variants de la  $\beta$ -lactoglobuline et de la lactoferrine, deux protéines du lait à haute valeur nutritionnelle, nous avons montré la capacité d'assemblages protéiques à conduire à une séparation de phase appelée coacervation avec formation spontanée d'une phase hautement concentrée en protéines. Nous nous sommes intéressés aux interactions qui modulent ce processus de coacervation des protéines. La lactoferrine présente une spécificité d'interaction et une préférence accrue pour le variant A de la  $\beta$ -lactoglobuline, légèrement plus acide que le variant B. Le domaine de coacervation est plus large et le rendement de coacervation plus élevé avoisinant 80 % contre seulement 5 à 8 % pour le variant B.

Ces résultats soulignent la nécessité de prise en compte de l'hétérogénéité génétique dans la structuration des assemblages protéiques. Nous poursuivons ces travaux sur la spécificité des interactions mises en jeu et sur les potentialités d'usage de ces coacervats : purification sélective des variants protéiques, capacité à encapsuler et protéger des molécules bioactives et sensibles (vitamines, acides gras, minéraux).

## Two proteins and multiple assembly possibilities

*Control of the interactions that occur between milk proteins under the influence of transformation processes is critical to product development and process control. Through the subtle control of their interactions, it is possible to generate a diversity of assemblies for various applications. We have focused on the interactions that lead to coacervation, a liquid-liquid phase separation with spontaneous formation of a highly concentrated protein phase known as coacervates.*

*Through the interaction process between  $\beta$ -lactoglobulin and lactoferrin, two milk proteins with high nutritional and biological values, we have demonstrated the ability of protein assemblies to lead to coacervation. Thus, lactoferrin exhibits a specificity of interaction and an increased preference for the variant A of  $\beta$ -lactoglobulin, a variant slightly more acidic than the variant B. The coacervation domain is broader for variant A and the coacervation yield higher, i.e., 80 % compared to approximately 5-8 % for variant B.*

*These findings emphasize the need to take genetic heterogeneity into account in the structuring of protein assemblies. Work is in progress to: (i) better identify the mechanisms and the origin of observed specificity; and (ii) explore the potential use of these coacervates for the selective purification of protein variants, ability to encapsulate and protect sensitive bioactive molecules (vitamins, fatty acids, metals).*

**Partenaires/Partnership :** Ce travail a été réalisé dans le cadre de la thèse de Nesrin Hesso 2014, supervisée par ONIRIS et l'INRA BIA à Nantes/This work is part of the Nesrin Hesso PhD Thesis, under the supervision of ONIRIS and INRA at Nantes. Une partie des travaux a été réalisée au Department of food science and nutrition, University of Minnesota/Part of this work has been carried out at the University of Minnesota, Dept of Food Science and Nutrition

**En savoir plus/Read more :** Hesso N., Le-Bail A., Loisel C., Chevallier S., Pontoire B., Queveau D., Le-Bail P. (2015) «Monitoring the crystallization of starch and lipid components of the cake crumb during staling». Food Research International 51,7-15.

Hesso N., Loisel C., Chevallier S., Le-Bail A., Queveau D., Le-Bail P. (2015) «Cake baking monitoring by the study of the different ingredients interactions: from a model system to a real system». Carbohydrate polymers 133, 533-538

**Contact :** patricia.le-bail@nantes.inra.fr

INRA-Nantes, BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES

**Partenaires/Partnership :** Universidade Federal de Viçosa, Brazil ; Laboratoire de Mathématiques Appliquées, Agrocampus-Ouest, Rennes ; Centre for Research on Adaptive Nanostructures and Nanodevices, Trinity College Dublin, Ireland ; Plateforme RMN, Institut de chimie de Rennes

**En savoir plus/Read more :** Tavares, G.M., Croguennec, T., Hamon, P., Carvalho, A. F., Bouhallab, S. (2015). Food Hydrocolloids, 48, 238-247  
Tavares, G.M., Croguennec, T., Lê, S., Leriche, O., Hamon, P., Carvalho, A. F., Bouhallab, S. (2015). Langmuir, 31 (45) 12481-12488

**Contact :** said.souhallab@rennes.inra.fr

INRA-AgroCampus Rennes SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO)/ SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG





(c) bioalaune.com



### **P**rotéines+ fibre en synergie pour un effet satiétogène

Des recherches ont montré l'intérêt d'un enrichissement en protéine OU en fibre pour ralentir le retour de la faim (effet satiétogène). Pour recueillir des données sur un potentiel effet synergique ou antagoniste entre les protéines et les fibres, nous avons formulé des biscuits riches en protéines et/ou en fibres et comparé leur comportement comparé à celui d'un biscuit référence du point de vue de leur évolution au cours de digestions *in vitro*.

Deux techniques de digestion ont été utilisées. Un digesteur mimant estomac et intestin grêle a permis le suivi des cinétiques d'hydrolyse de l'amidon et des protéines au cours de la digestion. Un rhéomètre a, par ailleurs, été utilisé pour suivre l'évolution de la viscosité du bol dans ces compartiments. La présence de fibres entraîne une forte et durable augmentation de la viscosité du bol alimentaire, jusque dans l'iléon ce qui permet un ralentissement du cheminement du bol d'un compartiment à l'autre.

La dégradation des protéines est ralentie et réduite dans les biscuits riches en protéines et/ou fibres ce qui prolonge le fonctionnement de la cascade de la satiété. Une synergie (protéine + fibre) a donc pu être mise en évidence, résultat complètement nouveau et prometteur pour de futures applications.

### **D**emonstration of the synergistic protein + fiber effect for improved satiety

*Research has shown the value of enrichment in protein OR in fiber to slow down the return of hunger (satiating effect). To collect data on a potential synergistic or antagonistic effect between protein and fiber, we made biscuits with high protein and/or fiber content and compared their behaviors to that of a reference biscuit in terms of their evolution during in vitro digestion.*

*Two digestion techniques were used. A digester mimicking the stomach and small intestine made it possible to monitor the kinetics of starch and protein hydrolysis during digestion. A rheometer was also used to monitor the viscosity of the bolus in these compartments. The presence of fibers causes a strong and lasting increase in the viscosity of the food bolus up to the ileum, thereby slowing its progress from one compartment to another.*

*Protein degradation was slowed down and reduced in high protein and/or fiber biscuits, prolonging the cascade of satiety. This work has highlighted the fiber + protein synergy, a completely new result that is promising for future applications.*

**Partenaires/Partnership** : ANR Project BISENS (2009-2012), Mondelez

**En savoir plus/Read more** : VILLEMEJANE C., BERLAND S., WAHL R., AYMARD P., DENIS S. & MICHON C. (2015). *In vitro* digestion of biscuits enriched in proteins and/or in fibres using a multicompartmental and dynamic system (1): viscosity measurement and prediction. Food Chemistry 1;182:55-63. VILLEMEJANE C., DENISS., MARSSET-BAGLIERI A., ALRIC M., AYMARDP. & MICHON C. (2015). *In vitro* digestion of biscuits enriched in proteins and/or fibres using a multi-compartmental and dynamic system (2): proteins and starch hydrolysis. Food Chemistry, 190: 164-172

**Contacts** : cindy.villemejane@agroparistech.fr, camille.michon@agroparistech.fr, INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING AgroParisTech - INRA -CNAM, MASSY

### **I**dentifier les contaminants chimiques des emballages en contact avec les aliments

Huit-mille substances présentes dans 17 groupes de matériaux sont susceptibles de migrer dans les aliments après un contact prolongé.

La spectroscopie par résonance magnétique nucléaire du proton (RMN <sup>1</sup>H) offre un détecteur universel pour les contaminants organiques, car tous contiennent des atomes d'hydrogène. Si on appelle les multiplets identifiés en RMN des syllabes et les spectres des mots, nous avons développé une technique mathématique pour identifier une combinaison arbitraire de mots (substances) dans une conversation (mélange). Testée sur une centaine de matériaux d'emballage, cette technique permet d'identifier les mots quand ils sont prononcés par un même locuteur (même appareil) ou prononcés avec un fort accent (bases de données spectrales). Un principe de parcimonie couplé à une méthode de choix optimal permet de proposer des estimations réalistes sur le nombre de substances, leurs identités et leurs quantités. Les résultats finaux sont disponibles en moins de deux heures, durée d'extraction, mesure et interprétation comprises.

La méthode, qui ne requiert ni de calibration par substance, ni d'étalon de la substance à rechercher, est utilisée en routine par le Laboratoire National de métrologie d'Essais pour la recherche des contaminants issus des matériaux d'emballage.

### **I**dentifying the chemical contaminants in packaging materials in contact with foods

*Some 8,000 chemical substances in seventeen groups of materials (plastics, elastomers, varnishes, inks, glues, etc.) are likely to migrate into foods after a prolonged contact.*

*Proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (<sup>1</sup>H NMR) provides a universal detector for organic contaminants as they all contain hydrogen atoms. If we think of the multiplets identified in NMR as syllables and the full spectra of substances as words, we have then developed a mathematical technique for identifying an arbitrary combination of words (substances) in a conversation (mixture), which has been tested on hundreds of packaging materials. In this technique, the words can be pronounced by the same speaker (i.e. same spectroscopist) or pronounced with a strong accent (spectral databases). A principle of parsimony coupled with an optimal choice method makes it possible to propose realistic estimates for the number of substances, their identities and their quantities. The final results are available in less than two hours, including the time of extraction, measurement and interpretation.*

*This method, which does not require either calibration, nor reference of the substance looked for, is routinely used by the French National Laboratory for Metrology and Testing (LNE) for food contact materials to search and track contaminants from packaging materials.*

**Partenaires/Partnership** : Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE) Accès à la méthode en open-source : <https://github.com/ovitrac/SFPDnmrspec>

**En savoir plus/Read more** : NGUYEN, P.-M., LYATHAUD, C., & VITRAC, O. (2015). A two-scale pursuit method for the tailored identification and quantification of unknown polymer additives and contaminants by <sup>1</sup>H NMR. Industrial & Engineering Chemistry Research, 54(10), 2667-2681

**Contacts** : olivier.vitrac@agroparistech.fr, mai.nguyen86vn@gmail.com INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING AgroParisTech - INRA -CNAM, MASSY



## 11 résultats dans ce chapitre. Vous en voulez plus ? *Want to know more?*

**Solidia, Plateforme de recherche et d'expérimentation de taille semi-industrielle pour la digestion anaérobie des ressources organiques solides**

[sebastien.pommier@insa-toulouse.fr](mailto:sebastien.pommier@insa-toulouse.fr)

Ouverte à tous types d'utilisateurs – bureaux d'études, laboratoires, équipementiers, porteurs de projets, agriculteurs - SOLIDIA est une plateforme de tests unique en France équipée de pilotes de grande dimension. Elle est notamment dédiée à la méthanisation par voie solide (ou sèche) de résidus agricoles de cultures ou d'élevage.

*SOLIDIA, a semi-industrial scale experimental research platform for the anaerobic digestion of solid organic resources*

*Open to all types of users – research and development agencies, laboratories, equipment manufacturers, project directors, farmers – SOLIDIA is the only test platform in France equipped with large-scale pilot facilities. It is especially dedicated to the discontinuous solid (or dry) methanation of agricultural crop and livestock waste.*

**Raffinage par voie sèche de tourteaux d'oléagineux pour l'obtention de concentrats de protéines et de polyphénols**

[abdellatif.barakat@supagro.inra.fr](mailto:abdellatif.barakat@supagro.inra.fr)

*Dry refining of oilcakes to obtain polyphenol and protein concentrates*

Brevet/Patent 1363543 FR 4/12/13 : Procédé de fractionnement par voie sèche de biomasse lignocellulosique/ *Dry fractionation of lignocellulosic biomass*

Piriou B., Barakat A., Vaitilingom G., Rouau X.

**Un article de synthèse... sur la synthèse des xylopyranosides !**

*A review article on xylopyranoside synthesis*

[caroline.remond@univ-reims.fr](mailto:caroline.remond@univ-reims.fr)

*Synthesis and Applications.* Brusa C, Muzard M, Rémond C, Plantier-Royon R. RSC Advances 2015, 5, 91026 – 91055.

Dédiée aux techniques de synthèse des  $\beta$ -xylopyranosides et leurs applications, nos collègues ont extrait des informations de plus de 250 publications afin de réaliser un état de l'art dans le domaine. En effet, les polymères basés sur le xylose peuvent avoir des propriétés très intéressantes (inhibiteurs, surfactants) et pourraient voir leur utilisation s'accroître dans le futur à travers la valorisation de la biomasse lignocellulosique.

*Dedicated to the techniques for synthesising  $\beta$ -xylopyranosides and their applications, our colleagues have extracted information from more than 250 publications in order to propose a state-of-the-art article in this domain. Actually, xylose-based polymers can have very interesting properties (as inhibitors, surfactants) and could be more largely used in a near future with the increasing valorisation of lignocellulosic biomass.  $\beta$ -xylopyranosides.*

Des ressources  
renouvelables  
pour limiter  
nos impacts sur  
l'environnement

Renewable  
resources for  
environmentally-  
friendly processes  
and uses

### Bioconversion de résidus agricoles en lipides avec la bactérie *Streptomyces lividans*

Les lipides sont des molécules clés pour la production d'agrocaburants et de produits biosourcés. Leur élaboration par des microorganismes à partir de biomasse lignocellulosique est en plein essor. Nous avons exploré le potentiel de résidus issus de l'agriculture, des tiges de tournesol et pailles de colza, pour la production de lipides d'intérêt par une bactérie lignocellulolytique, *Streptomyces lividans*.

La composition des parois en polysaccharides et lignines de ces résidus est identique. Les tiges de tournesol et pailles de colza renferment toutes deux, en moyenne, 32 % de cellulose et 16 % d'hémicelluloses. De plus les lignines contiennent un fort taux de liaison  $\beta$ -O-4, ce qui en fait des substrats potentiellement intéressants pour les filières de bioconversion. Quant à *Streptomyces lividans*, c'est une bactérie connue pour dégrader les lignocelluloses mais aussi pour produire des molécules d'intérêt, tels des antibiotiques ou des lipides.

Des tests de croissance de la souche TK24 de *S. lividans* ont été effectués sur les résidus avant et après leur extraction séquentielle à l'eau et à l'éthanol. La croissance a été évaluée en mesurant l'accumulation des acides gras bactériens. Tous les résidus se sont révélés être des substrats pour la bactérie, avec une production allant de 19% à 44% de la production de référence obtenue sur arabinose. Nous avons ainsi montré que ces bactéries sont capables de se développer sur les résidus de colza et de tournesol et qu'elles se développent préférentiellement sur la fraction glucidique soluble dans l'eau de ces résidus.

Il faut désormais optimiser les conditions de culture de cette bactérie afin qu'elle utilise d'autres fractions ou envisager des prétraitements thermiques ou chimiques pour libérer les molécules utilisables par ce type de microorganismes. Lors de l'analyse des lipides obtenus pendant la phase de croissance, nous avons identifié des acides gras originaux par leur structure puisqu'ils sont ramifiés ou comportent un nombre impair d'atomes de carbone voire réunissent ces deux caractéristiques. Ils représentent près des  $\frac{3}{4}$  des acides gras produits.

Ce travail a nécessité de mettre au point de nombreuses techniques d'analyse susceptibles d'intéresser le domaine industriel de la bioconversion. Le développement à plus grande échelle de ces résultats pionniers se fait grâce au projet ProBio3 (Investissements d'Avenir) qui vise à développer une nouvelle filière de production de biokérosène, via la production microbienne de lipides à partir de ressources en biomasse non alimentaires et de coproduits industriels.

### Bioconversion of agricultural residues into lipids using *Streptomyces lividans*

Lipids are key molecules for the production of agrofuel or bio-based products. Lipid production by microorganisms using lignocellulosic biomass as substrate is a booming sector. Two lignocellulosic agricultural residues, sunflower stalks and rape straw, were investigated as potential substrates for the production of lipids by the oleaginous, lignocellulolytic bacterium, *Streptomyces lividans*.

Chemical analysis of sunflower stalks and rape straw residues revealed similar cell wall compositions in the polysaccharides and lignins of the two feedstocks. They contain 32% of cellulose and 16% of hemicellulose on average. Furthermore, they have a high lignin  $\beta$ -O-4 bond content, which is an advantage with respect to lignin depolymerization in the bioconversion process. *Streptomyces lividans* is a bacterium that is well-known for its natural ability to degrade lignocellulose as well as for the production of high-value molecules such as antibiotics or lipids. Growth tests of *Streptomyces lividans* TK 24 on lignocellulosic residues were performed before and after their sequential extraction with water and ethanol.

Growth was assessed by measuring the accumulation of bacterial fatty acids. All extracted and non-extracted samples were found to be substrates of the bacterium, with fatty acid production ranging between 19% and 44% of the production obtained with arabinose as a reference substrate. We demonstrated that these bacteria were able to grow on sunflower and rape residues, preferentially on the water-soluble glucidic fraction of these residues.

It is now essential to optimize growth conditions so that this bacterium uses other fractions, or to perform chemical or thermal pretreatments in order to release molecules that are useful for bacterial growth. Analysis of bacterial lipids revealed the presence of original fatty acids such as branched-chain fatty acids and/or fatty acids containing odd carbon numbers. These fatty acids represented  $\frac{3}{4}$  of the total fatty acid content in bacteria.

To perform this study, we developed numerous analytical techniques that could be of interest for the industrial bioconversion sector. A scale-up of these pioneer results is performed in the ProBio3 project (Investissement d'Avenir), which aims at developing a new biojet fuel production sector via the production of microbial lipids using non-food biomass and industrial co-products as substrates for oleaginous microorganisms.

**Partenaires/Partnership :** Institut de biologie intégrative de la cellule, UMR CEA CNRS Université Paris Sud/ *Institute for Cell Integrative Biology*

Avec le soutien financier du PRES UniverSud et de l'Onidol (Organisation Nationale Interprofessionnelle des Graines et Fruits Oléagineux)/ *With the financial support of PRES UniverSud and Onidol*

**En savoir plus/Read more :**

Dulermo T, Coze F, Virolle MJ, Méchin V, Baumberg S, Froissard M: Bioconversion of Agricultural Lignocellulosic Residues into Branched-Chain Fatty Acids using *Streptomyces lividans*. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 22 octobre 2015. OCL, 23 2 (2016) A202

**Contact :** [marine.froissard@versailles.inra.fr](mailto:marine.froissard@versailles.inra.fr)

Marine Froissard, Valérie Méchin, Stéphanie Baumberg, INSTITUT JEAN-PIERRE BOURGIN (UMR IJPB) INRA – AgroParisTech



# RESSOURCES RENOUVELABLES

## RENEWABLE RESOURCES



### Une nouvelle génération d'emballages alimentaires durables issus du recyclage de résidus agro-alimentaires.

Dans le cadre du projet EcoBioCAP nous avons relevé le défi de recycler des résidus agro-alimentaires pour produire une nouvelle génération d'emballages alimentaires biodégradables en nous appuyant sur la compréhension et la modélisation multi-échelles des relations entre la structure des biocomposites élaborés et les transferts de matière. Nos partenaires portugais et italiens ont utilisé des eaux de lavage d'huileries d'olive et du lactosérum de fromageries comme substrats de fermentation pour la production de bio-polyesters (PHBV) grâce à la mise en oeuvre de cultures microbiennes mixtes et l'élaboration d'itinéraires optimisés. Les résultats montrent que les performances des PHBV obtenus sont similaires aux produits commerciaux issus de ressources alimentaires telles que le sucre de canne ou d'amidon de maïs hydrolysé.

Nous avons préparé des charges de renfort à partir de sous-produits ligno-cellulosiques (paille de blé, drèches de bière et grignons d'olive) dont les caractéristiques intrinsèques ont pu être contrôlées via la combinaison de procédés de broyage par voie sèche et de tri. Des barquettes ont été fabriquées par injection/moulage à échelle industrielle à partir de granulés composites constitués de PHBV et de fibres de pailles préalablement préparés par extrusion au sein de notre unité. Les propriétés barrière du PHBV peuvent être modulées selon la taille, la composition et la fraction massique des fibres, permettant ainsi de s'adapter aux besoins des produits respirant comme les fruits et légumes frais. Nous avons développé une approche de modélisation multi-échelles de la perméabilité aux gaz prenant en compte les paramètres structuraux 2/3 D des composites et les propriétés de transfert des constituants. Cette approche ouvre une voie innovante de rétro-ingénierie pour concevoir des structures composites dont les propriétés barrières sont ajustées aux besoins de l'aliment. L'étude des risques sanitaires liés au recyclage a montré que les procédés successifs de traitement des matériaux permettaient de décontaminer plus de 80% de résidus comme l'époconazole ou le  $\beta$ -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. 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.

Cette démarche de recyclage des résidus des filières agro-alimentaires sera approfondie pour contribuer à la création de schémas de bioraffinerie capable d'optimiser les différentes voies de valorisation des ressources agro-alimentaires : alimentation, bio-énergie, biomolécules et bio-matériaux, dans un contexte d'économie circulaire.

### A new generation of sustainable food packaging made from food industry by-products

*The challenge of the European project, EcoBioCAP, was to recycle food industry by-products for the production of a new generation of biodegradable food packaging. Our approach was based on the multi-scale modeling of the relationships between the structure of the biocomposites produced and mass transfers.*

*Our Portuguese and Italian partners used either cheese whey or liquid effluents from olive oil production as fermentation substrates for the production of bacterial bio-polyesters (PHBV) resulting from the development of mixed microbial cultures and optimized processes. The performances of the PHBV produced are similar to those of commercial polyesters made from food resources such as cane sugar or starch hydrolysates.*

*Thanks to the resources of our plant-processing platform, reinforcing fillers with controlled intrinsic characteristics were prepared from ligno-cellulosic by-products (wheat straw, distilling dregs and olive pomace) by combining dry grinding and sorting processes.*

*Rigid trays were produced at an industrial scale by injection molding of composite PHBV/wheat straw fiber-based compounds previously prepared by extrusion in our lab. It was shown that barrier properties of PHBV could be modulated according to fiber size, composition and content, making it possible to adapt to the requirements of respiring products such as fresh fruits and vegetables. Multi-scale modeling tools were developed to predict permeabilities as a function of the 2/3D structural parameters of composites and the properties of each constituent. This approach led to an innovative reverse engineering strategy for the design of composite structures that fulfill food requirements.*

*The study of the impact of recycling on health risks has shown that successive processes used to produce materials led to a decontamination of more than 80% of undesirable residues such as epoxiconazole or  $\beta$ -hexachlorocyclohexane contained in straw and cheese whey, respectively. Even the most pessimistic hypotheses (maximal residual content, migration and exposure) do not reveal any potential danger for human health. Decision support tools were developed to help industrials to choose the most appropriate packaging for a specific product that would be safer and more ecological.*

*In the context of a circular economy, this overall approach will be extensively studied so as to contribute to the creation of comprehensive bio-refinery schemes able to optimize the use of food resources and by-products in different fields of applications, including food, bio-energy, biomolecules and biomaterials.*

**Partenaires/Partnership :** Projet européen EcoBioCAP. Nathalie Gontard, Coordinatrice du projet a reçu le trophée des Étoiles de l'Europe, dans la catégorie Environnement, changement climatique décerné par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche <http://www.ecobiocap.eu>

#### En savoir plus/Read more :

Berthet M.A., Angellier-Coussy H., Guillard V., Gontard N. « Vegetal fibre-based biocomposites: Which stakes for food packaging applications? », Journal of Applied Polymer Science, 2015 DOI: 10.1002/app.42528.

Berthet M.A., Angellier-Coussy H., Chea V., Guillard V., Gastaldi E., Gontard N. "Sustainable food packaging: Valorising wheat straw fibres for tuning PHBV-based composites properties", Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2015, 72, 139-147.

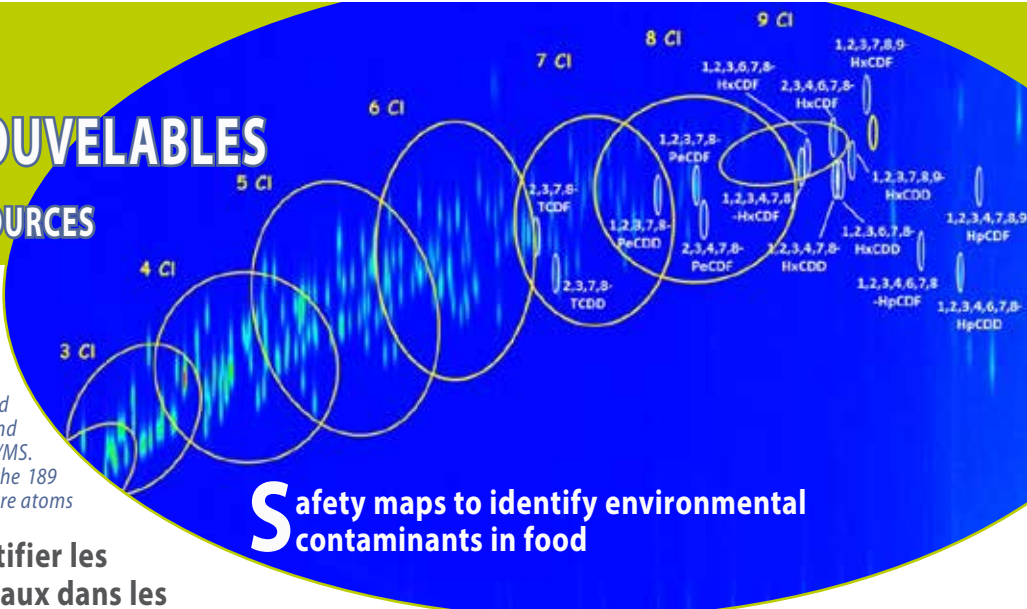
Berthet M.A., Angellier-Coussy H., Staebler A., Vicente A., Hilliou L., Gontard N. "Exploring the potentialities of using lignocellulosic fibres derived from three food by-products as constituents of biocomposites for food packaging", Industrial Crops and Products, 2015, 69, 110-122

**Contacts :** [helene.houssy@univ-montp2.fr](mailto:helene.houssy@univ-montp2.fr), [nathalie.gontard@univ-montp2.fr](mailto:nathalie.gontard@univ-montp2.fr) INGENIERIE DES AGROPOLYMERES ET TECHNOLOGIES EMERGENTES (UMR IATE) / EMERGING TECHNOLOGY AND POLYMER ENGINEERING INRA– Montpellier SupAgro - CIRAD - Université Montpellier

# RESSOURCES RENOUVELABLES

## RENEWABLE RESOURCES

Illustration : Carte sanitaire d'un aliment expérimentalement contaminé avec 17 dioxines et 189 polychlorobiphényles (PCBs) par GC×GC-ToF/MS. Les 17 dioxines sont annotées sur le chromatogramme et les 189 PCBs sont regroupés selon leur nombre d'atomes de chlore/ Picture: Safety maps of a food product experimentally contaminated with 17 dioxins and 189 polychlorinated biphenyls (PCBs) by GC×GC-ToF/MS. The 17 dioxins are noted on the chromatogram and the 189 PCBs are put together according to their number of chore atoms



## Safety maps to identify environmental contaminants in food

### Des cartes sanitaires pour identifier les contaminants environnementaux dans les aliments

De très nombreux polluants environnementaux sont retrouvés dans les aliments en particulier les dioxines et polychlorobiphényles (PCB), toxiques, même à faible dose.

Il est important d'évaluer précisément le risque sanitaire que représente la présence de ces substances dans les aliments. Mais, leur recherche est complexe en raison du grand nombre de composés au sein de chacune des familles de polluants et de leurs propriétés physico-chimiques très proches.

En prenant comme aliment modèle la viande, nous avons mis au point une méthode d'analyse pour suivre simultanément l'ensemble des composés de deux familles de polluants environnementaux, les dioxines (polychlorodibenzo-p-dioxines, PCDDs, et polychlorodibenzofuranes, PCDFs) et les polychlorobiphényles (PCBs)

La première étape de l'étude a consisté à déterminer les conditions pour séparer en une seule analyse un maximum de dioxines et de PCBs. La configuration du système de GC×GC-ToF/MS a permis de séparer et de quantifier 206 micro-contaminants et de dresser ainsi une carte sanitaire comprenant les 17 dioxines et 189 des 209 PCBs. La durée de l'analyse a pu être limitée à 75 min, soit une diminution substantielle en comparaison des solutions proposées dans la littérature. La méthode développée a ensuite été utilisée pour suivre ces contaminants dans des steaks hachés de bœuf.

La seconde étape de l'étude a consisté à développer (i) une méthode standardisée pour contaminer volontairement une matrice alimentaire complexe comme la viande et qui permet aujourd'hui de garantir l'obtention d'une viande multicontaminée de façon homogène et reproductible et (ii) une méthode d'extraction optimisée des dioxines et PCBs contenus dans la viande.

Ainsi, en mettant en œuvre la chromatographie exhaustive en phase gazeuse bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse à temps de vol, nous avons dressé des « cartes sanitaires » comprenant 17 dioxines et 189 des 209 PCBs.

Ces cartes sanitaires, utilisables pour étudier d'autres aliments contaminés par des polluants environnementaux, pourraient constituer un outil complémentaire aux méthodes de référence adoptées dans les plans de contrôle et de surveillance des agences sanitaires. Grâce à elles, nous étudions l'impact des transformations subies par l'aliment au cours de sa préparation ou de sa digestion sur la quantité de contaminants réellement assimilés par le consommateur et qui sont donc susceptibles d'impacter sa santé.

Numerous environmental contaminants are found in food, especially dioxins and polychlorinated biphenyls (PCBs), toxic even at low doses. It is important to accurately assess the health risk related to the presence of these substances in food. However, these studies are complex due to the large number of compounds within each of the families of pollutants and to their very similar physicochemical properties.

Taking meat as a model food matrix, we developed an analytical method to simultaneously monitor all the compounds of two families of environmental pollutants, i.e., dioxins (polychlorinated-p-dioxins or PCDDs, and polychlorinated benzofurans or PCDFs) and polychlorinated biphenyls (PCBs).

The first stage of the study consisted in determining the conditions necessary to separate a maximum of dioxins and PCBs in a single analysis. The GC × GC-ToF/MS system allowed us to separate and quantify 206 micro-contaminants and thus make a health safety map that included 17 dioxins and 189 of the 209 PCBs. Analysis time could be limited to 75 minutes, which is a substantial reduction from the solutions proposed in the literature. The developed method was then used to monitor these contaminants in ground beef patties.

The second stage of the study consisted in developing (i) a standardized method to intentionally contaminate a complex food matrix such as meat, and that now makes it possible to obtain a homogeneously and reproducibly multi-contaminated meat, and (ii) an optimized method for extracting PCBs and dioxins in meat.

Thus, by implementing comprehensive two-dimensional gas chromatography coupled with time-of-flight mass spectrometry, we developed a «safety map» with 17 dioxins and 189 of the 209 PCBs.

These maps, which can be used to study other foods contaminated with environmental pollutants, could be a complementary tool for the reference methods adopted in the control and monitoring plans of health agencies. Thanks to them, we can study the impact of the transformations undergone by a food during its preparation and its digestion on the quantity of contaminants actually absorbed by the consumer and that may have an impact on human health.

**Partenaires/Partnership :** ANR-12-ALID-0004 - Le Projet SOMEAT Safety of Organic Meat implique 14 partenaires, dont 11 unités de recherche publique de l'INRA, l'ANSES, Oniris et AgroParisTech et 3 instituts techniques de la filière viande, l'IFIP, l'ITAVI et l'IDELE <http://www.so-meat.fr> / The SOMEAT project funded by the National Research Agency involves 14 partners, among them: 11 research units from public organisations: INRA & ANSES, ONIRIS and AgroParisTech, and 3 technical institutes for the meat sector, IFIP, ITAVI, IDELE

#### En savoir plus/Read more :

Planche, C., Ratel, J., Mercier, F., Blinet, P., Debrauwer, L., & Engel, E. (2015). Assessment of comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry based methods for investigating 206 dioxin-like micropollutants in animal-derived food matrices. *Journal of Chromatography A*, 1392, 74-81.

**Contact :** [erwan.engel@clermont.inra.fr](mailto:erwan.engel@clermont.inra.fr)

QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX (UR QUAPA) INRA Auvergne-Rhône-Alpes / ANIMAL PRODUCT QUALITY



# RESSOURCES RENOUVELABLES

## RENEWABLE RESOURCES



### Un procédé alternatif pour la production d'éthanol 2G en circuit court

Les modèles économiques de production d'éthanol de 2<sup>ème</sup> génération requièrent des capacités de production massives (250-350 000 t/an), beaucoup d'énergie, d'eau, de produits chimiques, d'opérations de dépollution et de traitement des déchets. Notre ambition est d'atteindre la viabilité technique, environnementale et économique d'unités de production dès 30 000 tonnes de biomasse sèche par année en diversifiant les sources de biomasses exploitables pour la production de biocarburants et en déployant de petits sites de production dans des zones rurales du monde entier.

Nous avons collectivement développé une alternative aux pré-traitements actuels s'appuyant sur la technologie bi-vis. Le cœur du nouveau procédé, appelé extrusion-saccharification combinée (CES), est basé sur une déstructuration thermomécanochimique de biomasses lignocellulosiques solides, couplée à l'incorporation des catalyseurs enzymatiques directement en extrudeur. Cette étape innovante est appelée Bioextrusion.

Le procédé améliore l'accessibilité de la cellulose aux enzymes ainsi qu'une activation de la saccharification en milieu concentré directement dans l'extrudeur et extensible à une étape batch. L'enchaînement des étapes conduit à la déconstruction de l'édifice structural pour la production de sucres C5 et C6 directement fermentescibles destinés à la production de bioéthanol de 2<sup>ème</sup> génération.

**Partenaires/Partnership** : Projets Européens/European Projects BABETHANOL 2008-2013 FP7-ENERGY13 & BABET-REAL5 2016-2020 H2020-LCE

CIEMAT Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas  
UMAN Universidad Nacional Autónoma de México

**En savoir plus/Read more** : Vandenbossche V., Brault J., Vilarem G., Rigal L. Biocatalytic action of twin-screw extruder enzymatic hydrolysis on the deconstruction of annual plant material: Case of sweet corn co-products. *Industrial Crops & Products*. 2015, 7, 239-248

**Contacts** : [virginie.vandenbossche@ensiacet.fr](mailto:virginie.vandenbossche@ensiacet.fr), [luc.rigal@ensiacet.fr](mailto:luc.rigal@ensiacet.fr), [gerard.vilarem@ensiacet.fr](mailto:gerard.vilarem@ensiacet.fr) - CHIMIE AGRO-INDUSTRIELLE (UMR CAI) / AGRO-INDUSTRIAL CHEMISTRY INRA - INPT - ENSIACET Toulouse

### An alternative process for short-circuit 2G ethanol production

*The business model for second-generation ethanol requires massive annual production capacities (250-350,000 tons per year), necessitating high levels of energy, water, chemicals, pollution control and waste treatment operations.*

*Our aim is to achieve technical, environmental and economical viability in production units that process at least 30,000 tons equivalent dry biomass per year. This approach will extend the scope of biomass feedstocks exploitable for the production of biofuel and create better conditions for the deployment of small production sites for rural areas in Europe and worldwide.*

*With our partners, we developed an alternative to the current pre-treatment based on twin-screw technology. The core of the new process, referred to as combined extrusion saccharification (CES), is based on a thermo-mechano-chemical deconstruction of solid lignocellulosic biomass coupled with the incorporation of enzyme catalysts directly in the extruder. This second innovative step is referred to as bioextrusion.*

*The process improves the accessibility of cellulose to enzymes, as well as the activation of saccharification in concentrated medium directly in the extruder and extendible to a batch step. The sequence of steps leads to the deconstruction of the structural edifice for the production of directly fermentable C5 and C6, to be used for the production of second-generation bioethanol.*

### Une approche de protéomique pour aborder la biogénèse des parois cellulaires des grains de céréales

Chez les végétaux, les cellules sont délimitées par des parois qui jouent un rôle essentiel notamment dans leur croissance et leur protection. Dans le cas des grains de céréales, les parois sont constituées majoritairement de polysaccharides. Ces sucres complexes sont essentiellement synthétisés à l'intérieur des cellules ; ils sont ensuite transportés vers la paroi où ils sont assemblés puis modifiés au cours du développement des grains.

Pour identifier les enzymes impliquées dans la biosynthèse, l'assemblage et le remodelage des constituants des parois, nous avons mis en œuvre des approches de protéomique ciblant le grain à différentes échelles (du tissu à la paroi). Deux plantes ont été explorées : le blé, céréale de grande culture, et la plante modèle des graminées *Brachypodium distachyon*. Avec près de 500 protéines pariétales identifiées dans le grain de *B. distachyon* et plus de mille protéines identifiées dans l'albumen ou les couches externes des grains de blé, ces protéomes constituent les protéomes subcellulaires de grains les plus conséquents à ce jour.

La fonction biologique de certaines protéines candidates particulièrement intéressantes est en cours d'investigation par des approches de validation fonctionnelle.

### A sub-cellular proteomic approach to investigate cell wall biogenesis in cereal grains

*Plant cells are surrounded by cell walls that are essential to plant growth and protection. In the case of cereal grains, the cell wall consists mainly of polysaccharides. Most of these complex sugars are synthesized within the cells. They are then transported to the wall where they are assembled and modified during grain development.*

*To identify the enzymes involved in the biosynthesis, assembly and remodeling of cell wall components, we implemented proteomic approaches that target the grain at different organizational levels (from the tissue to the cell wall). Two plant species were studied: a major cereal crop, wheat, and the grass model plant *Brachypodium distachyon*.*

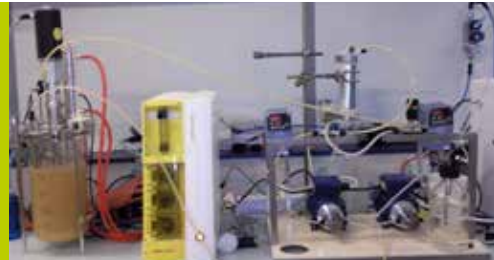
*With about 500 cell wall proteins identified in the grain of *B. distachyon* and more than a thousand in the endosperm and outer layers of the wheat grain, these proteomes constitute the most complete sub-cellular proteomes of grains to date. The biological function of some particularly interesting proteins is currently being investigated using several functional validation approaches.*

**En savoir plus/Read more** : Toutes les protéines identifiées sont mises à disposition de la communauté scientifique/All the proteins identified are available on : WallprotDB - <http://www.polebio.lrsv.ups-tlse.fr/WallProtDB/>

Francin-Allami M, Merah K, Albenne C, Rogniaux H, Pavlovic M, Lollier V, Sibout R, Guillon F, Jamet E, Larré C. Cell wall proteomic of *Brachypodium distachyon* grains: A focus on cell wall remodeling proteins. *Proteomics*. 2015 Jul;15(13):2296-306.  
Chateigner-Boutin AL, Suliman M, Bouchet B, Alvarado C, Lollier V, Rogniaux H, Guillon F, Larré C. Endomembrane proteomics reveals putative enzymes involved in cell wall metabolism in wheat grain outer layers. *J Exp Bot*. 2015 May;66(9):2649-58.

**Contact** : [mathilde.allami@nantes.inra.fr](mailto:mathilde.allami@nantes.inra.fr), [anne-laure.chateigner-boutin@nantes.inra.fr](mailto:anne-laure.chateigner-boutin@nantes.inra.fr) INRA-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLIES





### **L**a diananofiltration : une étape de détoxification de la biomasse lignocellulosique pour améliorer la production de bioéthanol

Pour produire du bioéthanol, la biomasse lignocellulosique de déchets agricoles (paille, tailles de bois) subit un pré-traitement sévère afin de libérer son potentiel «sucres». Mais il génère aussi des composés potentiellement inhibiteurs pour les étapes ultérieures de fermentation ou de bioconversion. Les procédés proposés jusqu'ici ne permettaient de retenir que certains composés inhibiteurs et présentaient des inconvénients en termes de perte en sucres ou d'impact environnemental. En nous inspirant de travaux antérieurs sur la purification de condensats de distillerie, nous avons montré que certaines membranes de nanofiltration à seuil de coupure très bas (compris entre 150 et 300 g/mol) offraient une sélectivité remarquable, retenant les sucres (glucose, xylose, arabinose) mais laissant passer les composés toxiques tels que furfural, acide acétique, HMF, voire des composés phénoliques à masse molaire élevée tels que la vanilline. Mise en œuvre en mode diafiltration, la nanofiltration a permis d'augmenter la pureté d'un hydrolysats modèle de 82 % à plus de 98 %. Des essais de fermentation avec la levure *Pichia stipitis* ont confirmé une fermentescibilité équivalente à celle d'une solution de référence de même concentration en sucres mais sans inhibiteurs.

Nous poursuivons ces recherches en vue de la production de substrats fermentescibles à partir d'hydrolysats réels et la valorisation des molécules inhibitrices recueillies dans le perméat.

### **D**iananofiltration: a detoxification step to increase yield and productivity of bioethanol production from lignocellulose

*To produce bioethanol, the lignocellulosic biomass from agricultural waste (straw, wood cuttings) undergoes a rigorous pre-treatment in order to release sugars. But it also generates chemical compounds that are potentially toxic for the subsequent fermentation and bioconversion steps. The processes proposed until now only make it possible to retain some of these compounds and have drawbacks in terms of sugar loss and environmental impact.*

*Based on previous studies on distillery condensate purification, researchers showed that aromatic polyamide thin-film nanofiltration membranes with low molecular weight cut-off (between 150 and 300 g/mol) displayed outstanding selectivity properties, retaining sugars (glucose, xylose and arabinose) but allowing toxic compounds such as furfural, acetic acid, HMF and even vanillin to go through. Implemented in a diafiltration mode, nanofiltration led to an increase in the purity of a model hydrolysate, from 82% to over 98%. Fermentation tests with *Pichia stipitis* confirmed that fermentability was equivalent to that of a reference solution containing sugars at the same concentration but without inhibitors.*

*On-going studies aim at producing fermentable substrates from real hydrolysates and valorizing the inhibitory molecules recovered in the permeate.*

### **B**ioproduction extractive de l'acide 3-hydroxypropionique : vers un procédé intégré

L'acide 3-hydroxypropionique (3-HP) est une molécule plateforme d'intérêt qui peut être produite par voie microbienne à partir de glycérol, notamment par *Lactobacillus reuteri*. L'inhibition induite par les produits du métabolisme sur les bactéries productrices constitue néanmoins un verrou majeur et nous avons choisi comme levier d'action un procédé intégré couplant bioconversion et extraction réactive *in situ* assistée par contacteur membranaire.

L'étude de trois souches a permis pour la première fois de mettre en évidence la diversité intra-espèce chez *L. reuteri* et de sélectionner la souche DSM 17938. Celle-ci consomme plus de glycérol et présente le ratio molaire (1,2) entre le 3-HP et son coproduit (1,3-propanediol) le plus favorable. D'autre part, les effets délétères de l'intermédiaire métabolique 3-hydroxypropionaldéhyde (3-HPA) et du 3-HP ont été explorés. L'apport contrôlé de glycérol est à l'étude pour éviter l'accumulation du 3-HPA. L'étude de l'extraction réactive du 3-HP a démontré la faisabilité du procédé, tout en proposant un éclairage sur les mécanismes d'action. Nous avons montré un effet synergique lors d'une utilisation combinée de tri-octylamine et d'un ammonium quaternaire (augmentation du coefficient de distribution d'un facteur 3 par rapport à l'amine tertiaire seule). La complexité du milieu réel de bioconversion impactant les performances de l'extraction, nous explorons actuellement ces limitations de façon à proposer une conduite optimisée du procédé intégré.

### **T**owards an integrated production process of 3-hydroxypropionic acid with *in situ* product recovery

*Three-hydroxypropionic acid (3-HP) is a major synthon that can be produced from glycerol through microbial processes, particularly by *Lactobacillus reuteri*. The inhibition induced by the metabolic products on the producing bacteria is nevertheless a major challenge. In this context, we chose an integrated process that combined bioconversion and *in situ* reactive extraction assisted by a membrane contactor as the action mechanism.*

*The study of three strains made it possible to highlight the intra-species diversity of *L. reuteri* for the first time and to select the strain DSM 17938. This strain consumes more glycerol and presents the most favorable molar ratio (1.2) between 3-HP and its co-product, 1,3-propanediol. On the other hand, the deleterious effects of the metabolic intermediate 3-hydroxypropionaldehyde (3-HPA) and 3-HP were explored. The controlled glycerol supply is under study to avoid 3-HPA accumulation.*

*The study of reactive extraction of 3-HP demonstrated the feasibility of the process while offering insights into the action mechanisms.*

*We showed a synergistic effect when combining tri-octylamine and a quaternary ammonium (increase in the distribution coefficient by a factor of 3 compared to tri-octylamine alone). Since the complexity of the real bioconversion medium impacts the extraction performance, we are currently exploring these limitations in order to propose the optimized operation of the integrated process.*

**Partenaires/Partnership :** Contribution du VIET/Contribution of the Vietnam International Education Development to N. Nguyen PhD

**En savoir plus/Read more :** Nguyen N., Lameloise M.-L., Guiga W., Lewandowski R., Bouix M., Fargues C. Optimization and modelling of diananofiltration process for the detoxification of ligno-cellulosic hydrolysates. Study at pre-industrial scale. *J. Membr. Sci.*, 512 (2016) 111–121. Nguyen N., Fargues C., Guiga W., Lameloise M.L. Assessing nanofiltration and reverse osmosis for the detoxification of lignocellulosic hydrolysates. *J. Membr. Sci.*, 487 (2015) 40–50.

**Contact :** marie-laure.lameloise@agroparistech.fr

INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING  
AgroParisTech - INRA, MASSY

**Partenaires/Partnership :** Reims Métropole, Département de la Marne, Région Champagne-Ardenne, Chaire Agro-Biotechnologies Industrielles (ABI) d'AgroParisTech.

**En savoir plus/Read more :** Burgé G., Saulou-Bérion C., Moussa M., Pollet B., Flourat A., Allais F., Athès V., Spinnler H.E. Appl. Biochem. Biotechnol. (2015) 177:923–939. Moussa M., Burgé G., Chemarin F., Bounader R., Allais F., Saulou-Bérion C., Spinnler H.E., Athès V. Reactive extraction of 3-hydroxypropionic acid from model aqueous solutions and real bioconversion media. Comparison with its isomer 2-hydroxypropionic (lactic) acid. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* (2015) doi: 10.1002/jctb.4813

**Contact :** Violaine Athès-Dutour, vathes@grignon.inra.fr

GÉNIE ET MICROBIOLOGIE DES PROCÉDÉS ALIMENTAIRES (UMR GMPA) / FOOD PROCESS ENGINEERING & MICROBIOLOGY INRA – AgroParisTech

# RESSOURCES RENOUVELABLES

## RENEWABLE RESOURCES



### L'incorporation de nanowhiskers de cellulose renforce les propriétés de gels d'agarose

Les hydrogels sont des matériaux constitués d'un réseau polymérique et d'un solvant aqueux aux nombreuses propriétés que l'introduction de nanoparticules peut renforcer. Les nanowhiskers, obtenus par hydrolyse à l'acide sulfurique, correspondent aux parties cristallines de la cellulose. Ils portent des groupements sulfate, ce qui permet l'obtention de suspensions aqueuses stables via les répulsions électrostatiques. L'agarose est un polysaccharide extrait d'algues géifiant par agrégation d'hélices et montrant des propriétés viscoélastiques importantes. Nous avons cherché à moduler les propriétés d'hydrogels composites en contrôlant la charge électrostatique des nano-particules et en variant leur concentration.

L'incorporation de nanowhiskers dans l'agarose à des concentrations inférieures au seuil de percolation (0,25% en volume) renforce fortement (x10) les propriétés mécaniques du gel. Le transfert des contraintes entre les nanowhiskers et la matrice modifie la connectivité du réseau. La variation de la densité de charges en surface des nanowhiskers module les interactions : faiblement chargés, en s'agrégeant, ils contribuent peu à l'élasticité. Plus chargés, mieux dispersés, ils contribuent efficacement à l'effet renfort. Toutefois, au-delà d'une densité maximale d'ions  $SO_3^-$  des contraintes topologiques réciproques matrice/nanowhiskers pourraient diminuer le renforcement.

Cette modulation des propriétés laisse penser que les propriétés de la matrice peuvent également jouer un rôle. Remplacer l'agarose par des carraghénanes, également extraits d'algues et sulfatés, est une piste intéressante.

**En savoir plus/Read more :** K.J. Le Goff, C. Gaillard, W. Helbert, C. Garnier, T. Aubry (2015) Rheological study of reinforcement of agarose hydrogels by cellulose nanowhiskers *Carbohydrate Polymers*, 116, 117-123. K.J. Le Goff, C. Gaillard, C. Garnier, T. Aubry (2016) Electrostatically driven modulation of the reinforcement of agarose hydrogels by cellulose nanowhiskers. *Journal of Applied Polymer Science*, 43063. doi: 10.1002/app.43063 b03686.

**Contact :** catherine.garnier@nantes.inra.fr

INRA-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES

Cliché AFM d'un hydrogel d'agarose contenant des nanowhiskers / Agarose gel including nanowhiskers by AFM

### Cellulose nanowhiskers strengthen agarose gel properties

*Hydrogels are materials made from a polymeric network and an aqueous solvent. They have various properties that can be modified by the presence of nanoparticles to be used for new applications. Nanowhiskers, obtained by hydrolysis with sulfuric acid, are nanocrystalline cellulose particles. They carry sulfate groups that make it possible to obtain stable aqueous suspensions through electrostatic repulsions. Agarose is a polysaccharide extracted from algae that forms gels by aggregation of helices and that has considerable viscoelastic properties. In this study, we attempted to modulate the properties of composite gels by controlling the electrostatic charge of nanoparticles and by varying their concentration.*

*The addition of nanowhiskers to agarose at concentrations lower than their percolation threshold (0.25% in volume) strongly reinforces (x10) the mechanical properties of the gel. Stress transfer between nanowhiskers and the matrix can affect the connectivity of the agarose network. Varying the charge density at the nanowhisker surface alters the interactions: a weakly charged nanowhisker surface leads to aggregation and a less efficient strengthening effect. At a higher charge density, nanowhiskers are more effectively dispersed and strengthen the agarose network. Nevertheless, besides a maximum density of  $SO_3^-$  groups, topology modifications and/or network connectivity changes could lead to a less efficient strengthening. These results suggest that matrix properties can also play a role. Replacing agarose with carrageenans, also extracted from algae and sulfated, could provide an interesting option.*

### De nouveaux biosourcés issus des bioraffineries

Il existe aujourd'hui une demande croissante d'antioxydants biosourcés, peu coûteux, susceptibles de remplacer des antioxydants de synthèse (comme le bisphénol A). Des co-produits issus de la transformation industrielle de la biomasse végétale, tels les lignines, constituent une source nouvelle d'antioxydants pour la formulation d'aliments, d'emballages ou de produits cosmétiques.

Nous avons conçu deux systèmes modèles représentatifs des applications ciblées : une dispersion aqueuse d'acide linoléique mimant une émulsion cosmétique ou alimentaire, et un film à base de cellulose nanocrystalline présentant un intérêt pour l'emballage. L'activité antioxydante des lignines a été évaluée respectivement dans chacun des systèmes par leur capacité à retarder l'oxydation des acides gras soumis à un stress oxydatif et à piéger des radicaux en solution dans le milieu environnant.

Il s'avère que les propriétés antioxydantes des lignines dans les systèmes complexes sont exacerbées par la présence de composés phénoliques de faible masse molaire (monomères et oligomères extractibles à l'éthanol). Nous avons ainsi pu concevoir des films cellulose-lignines qui combinent activité biologique, résistance à l'eau et propriétés optiques, propriétés conservées après traitement à l'éthanol.

### New biosourced antioxidants from biorefineries

*Increasing attention has been focused on biosourced and inexpensive antioxidants to replace synthetic antioxidants (such as bisphenol A). By-products from the lignocellulose conversion process, such as lignins, represent a new antioxidant source for the formulation of foods, packaging and cosmetics.*

*Two complex matrices were used to investigate the antioxidant properties of lignins in conditions representative of high-valued targeted applications: a lipid-based dispersion representative of an emulsified matrix in cosmetic or food products, and a cellulose-based film that could be used for packaging. The antioxidant activity of lignins was assessed for their capacity to delay the oxidation of fatty acids subjected to an oxidative stress and to scavenge free radicals in the surrounding medium.*

*We showed that the oxidative properties measured in complex matrices became more prominent with highly depolymerized lignins than with low molecular mass (monomer and oligomer ethanolic fractions). In the end, we successfully designed cellulose-lignin-based films that combined biological activity, water resistance and optical properties, all of which remained after treatment with ethanol.*

**En savoir plus/Read more :** Aguié-Béghin, V.; Foulon, L.; Soto, P.; Crônier, D.; Corti, E.; Legée, F.; Cézard, L.; Chabbert, B.; Maillard, M.N.; Huijgen, W.J.J. and Baumberger S. (2015). Use of Food and Packaging model matrices to investigate the antioxidant properties of biorefinery grass lignins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (45), pp 10022–10031

**Contacts :** veronique.aguie@reims.inra.fr

FRACTIONNEMENT DES AGRO-RESSOURCES ET ENVIRONNEMENT (UMR FARE) / FRACTIONATION OF AGRICULTURAL RESOURCES & ENVIRONMENT INRA – Université de Reims Champagne Ardenne

stephanie.baumberger@versailles.inra.fr

INSTITUT JEAN-PIERRE BOURGIN (UMR IJPB) INRA – AgroParisTech

marie-noelle.maillard@agroparistech.fr

INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING AgroParisTech - INRA - CNAM, MASSY



# RESSOURCES RENOUVELABLES

## RENEWABLE RESOURCES

### Synthèse enzymatique de liaisons glycosidiques: une lutte contre l'omniprésence de l'eau

La synthèse chimique de liaisons glycosidiques, à la base de l'élaboration de nombreuses molécules d'intérêt, est longue et fastidieuse alors que la grande biodiversité des glycoside hydrolases (GH) constitue un réservoir pour la catalyse de réaction de glycosynthèse. Par des approches d'ingénierie enzymatique permettant de combiner des activités hydrolytiques quasi-inexistantes et de transglycosylation décuplée, nous avons obtenu à partir d'une arabinofuranosidase, les premières transglycosidases (TG) évoluées actives sur des furanoses, présentant des taux de transfert proches de 100 %.

Ces réactions enzymatiques procurent avec des rendements élevés (jusqu'à 80%) des produits parfaitement stables. En conséquence, nous postulons que l'inertie des TG à la présence de l'eau s'expliquerait par le fait que ces enzymes sont fondamentalement paresseuses par rapport à leurs homologues hydrolytiques. En effet, alors que les GH se lient de manière optimale au sucre donneur, menant à l'hydrolyse, les TG engageraient des interactions altérées avec le sucre donneur, ce qui serait intrinsèquement nuisible pour le déroulement de la réaction d'hydrolyse, l'eau devenant un mauvais substrat lors de la catalyse. Une reconnaissance accrue des molécules acceptrices permettrait de faire définitivement pencher l'activité vers la synthèse. Ces hypothèses, étendues à d'autres GH pourraient compléter la palette d'outils synthétiques du glycochimiste.

### Enzymatic synthesis of glycosidic bonds: a struggle against the omnipresence of water

*The chemical synthesis of glycosidic bonds, involved in the design of many target molecules, has often proven to be quite challenging, whereas the vast biodiversity of glycoside hydrolases (GHs) constitutes a reservoir of readily-available enzymes for the catalysis of glycosynthesis reactions. Using protein engineering approaches that combine almost non-existent hydrolysis activities with enhanced synthetic activity, the first evolved furanose-acting transglycosidases (TGs), with transfer rates close to 100%, were obtained from an arabinofuranosidase.*

*These enzymatic reactions provided stable products with high yields (up to 80%). Consequently, we hypothesize that the inertia of TGs to water molecules might be explained by the fact that these enzymes are basically lazy compared to their hydrolytic counterparts. Indeed, whereas GHs optimally bind to the donor sugar, leading to hydrolysis, the TGs provoke altered interactions with this substrate, which would be detrimental for the hydrolysis reaction since water would be a poor substrate during catalysis. Enhanced recognition of the acceptor molecules would definitely shift the activity towards synthesis.*

*These assumptions, extended to other GHs, could complete the synthetic toolbox of the glycochemist.*

### Les graines nous montrent comment déstabiliser une émulsion lipidique

Les plantes oléagineuses sont cultivées pour la richesse en huile de leurs graines. Cette huile est stockée sous forme d'une émulsion intracellulaire remarquablement stable, constituée de gouttelettes, les corps lipidiques. Pour extraire l'huile de ces graines, les agro-industries utilisent de grandes quantités d'hexane alors que la réglementation européenne REACH impose de rechercher des voies alternatives d'extraction. L'extraction aqueuse est une voie prometteuse mais limitée par la très grande stabilité de l'huile émulsionnée ainsi extraite. Or la graine, lorsqu'elle germe, déstabilise et dégrade ses corps lipidiques. En comprenant in planta par quels mécanismes physiologiques, nous ouvrirons de nouvelles pistes biomimétiques pour l'extraction aqueuse des huiles.

Les protéines majeures des corps lipidiques, les oléosines, stabilisent l'interface et contrôlent la taille des gouttelettes lipidiques mais le rôle de la dégradation des oléosines dans la mobilisation des lipides reste inconnu. Nous avons montré que la dégradation des oléosines précède et contrôle la mobilisation des lipides. Nous avons également identifié différentes voies de protéolyse des oléosines impliquant le système ubiquitine/protéasome et des protéases à cystéine. Ce résultat met en avant l'intérêt d'utiliser des protéases à cystéine pour l'extraction aqueuse d'huile.

### Grains teach us how to destabilize an emulsion

*Oilseed crops are grown primarily for the oil contained in their seeds. This oil is stored in organelles called lipid droplets, forming a very stable intracellular emulsion. Solvent extraction with hexane is the standard practice in today's oilseed-processing facilities, but REACH regulations require industrial processes to limit solvent use. Aqueous extraction of seed oil is a promising alternative, currently limited by the high stability of the extracted emulsion. Since seeds are able to destabilize and degrade lipid droplets when germinating, deciphering the physiological mechanisms of lipid droplet destabilization during seed germination may pave the way for biomimetic aqueous extraction processes.*

*The major lipid droplet proteins, the oleosins, stabilize the lipid droplet interface and control their size. When germinating, seeds mobilize their oil reserve by degrading lipid droplets. The role of oleosins in this degradation mechanism is unknown. We have shown that oleosin degradation precedes and controls lipid mobilization. We also identified several mechanisms of oleosin proteolysis involving the ubiquitin-proteasome pathway and some cysteine proteases. This result highlights the relevance of cysteine proteases for aqueous oil extraction.*

**En savoir plus/Read more :** Bastien Bissaro, Julien Durand, Xevi Biarnés, Antoni Planas, Pierre Monsan, Michael J. O'Donohue, Régis Fauré. Molecular design of non-Leloir furanose-transferring enzymes from an  $\alpha$ -L-Arabinofuranosidase: a rationale for the engineering of evolved transglycosylases. ACS Catal. 2015, 5(8):4598-4611.  
Bastien Bissaro, Pierre Monsan, Régis Fauré, Michael J. O'Donohue. Glycosynthesis in a Waterworld: new insight into the molecular basis of transglycosylation in retaining glycoside hydrolases. Biochem. J. 2015, 467(1):17-35.

**Contacts :** [regis.faire@insa-toulouse.fr](mailto:regis.faire@insa-toulouse.fr), [michael.odonohue@insa-toulouse.fr](mailto:michael.odonohue@insa-toulouse.fr)  
INGENIERIE DES SYSTEMES BIOLOGIQUES ET DES PROCÉDÉS (UMR ISBP) / BIOSYSTEMS AND PROCESS ENGINEERING INRA - INSA - CNRS

**Partenaires/Partnership :** Plateforme d'Analyse Protéomique de Paris Sud-Ouest (PAPPSO)

**En savoir plus/Read more :** D'Andrea, S. «Lipid droplet mobilization: The different ways to loosen the purse strings.» Biochimie 2016, 120: 17-27.  
Deruyffelaere, C., I. Bouchez, et al. Ubiquitin-Mediated Proteasomal Degradation of Oleosins is Involved in Oil Body Mobilization During Post-Germinative Seedling Growth in Arabidopsis. Plant Cell Physiol. 2015, 56(7): 1374-1387.

**Contact :** [sabine.dandrea@versailles.inra.fr](mailto:sabine.dandrea@versailles.inra.fr)  
INSTITUT JEAN-PIERRE BOURGIN (UMR IJPB) INRA - AgroParisTech





## 7 résultats dans ce chapitre. Vous en voulez plus ? *Want to know more?*

La Start-Up EnobraQ développe une levure capable d'utiliser le CO<sub>2</sub> (atmosphérique ou d'une autre origine) et de le transformer en molécules d'intérêt pour l'industrie chimique

Ce transfert a été rendu possible par les résultats du projet Carboyeast, autofinancé par TWB\* qui héberge ENobraQ dans ses locaux. Ce projet est porté depuis 3 ans par une équipe pluridisciplinaire du LISBP, Laboratoire d'Ingénierie des Systèmes Biologiques et des Procédés – INSA Toulouse, sous la coordination de Denis Pompon, chercheur CNRS.

Créée en novembre 2015, EnobraQ a pour objectif de développer un procédé biologique de capture du CO<sub>2</sub> (atmosphérique ou issu de l'industrie) par des levures pour la production de composés chimiques. Elle est basée sur une innovation de rupture qui consiste à concevoir un micro-organisme (*Saccharomyces cerevisiae*) capable, à l'instar des plantes et des micro-algues, d'utiliser le CO<sub>2</sub> pour produire une large gamme de molécules chimiques d'intérêt économique.

\*Toulouse White Technologies, Programme Investissements d'avenir page 30

***EnobraQ, a recently founded start-up, develops a yeast technology for the fixation of CO<sub>2</sub> and its conversion into target chemicals for industry***

*EnobraQ is the fruit of the Carboyeast project, research that was auto-financed by TWB. Currently, TWB is hosting EnobraQ which will be supported over the next 3 years by a multidisciplinary research team from the Laboratory of Biosystems and Process Engineering (LISBP) led by Denis Pompon.*

*Created in November 2015, EnobraQ is developing yeast-based technology for the capture and conversion of atmospheric or industrial CO<sub>2</sub> into target chemical compounds. EnobraQ's IPR is based on breakthrough results that show that an engineered strain of *Saccharomyces cerevisiae* is able to imitate plants and microalgae, assimilating CO<sub>2</sub> and producing chemicals using this carbon source.*

\*Toulouse White Biotechnologies, programme Investissements d'Avenir page 30

Contact : [denis.pompon@insa-toulouse.fr](mailto:denis.pompon@insa-toulouse.fr)

INGENIERIE DES SYSTEMES BIOLOGIQUES ET DES PROCÉDÉS (UMR ISBP) / BIOSYSTEMS AND PROCESS ENGINEERING INRA - INSA - CNRS  
<http://www.toulouse-white-biotechnology.com/en/twb-announces-the-creation-of-enobraq/>

**EnobraQ**

Contribuer à  
l'innovation  
dans les filières  
économiques

Contributing  
to innovation  
in economic  
sectors

# TRANSFERT, INNOVATION

## TRANSFER, INNOVATION

### Bientôt des produits frits non-gras ?

L'huile pénètre dans les produits frits (frites, chips, nuggets) principalement quand ces derniers sont retirés du bain de friture. En effet, lors de l'immersion la sortie de la vapeur au travers de la croûte empêche l'imprégnation en huile alors que c'est au cours du refroidissement que l'huile remplit les vides laissés par l'eau. Le rôle de l'air en tant que phase incondensable n'était pas connu. Ces deux phénomènes rapides ont été imagés et modélisés à l'échelle microscopique pour la première fois en utilisant le rayonnement du synchrotron SOLEIL dans une configuration équivalente à celle où le détecteur est placé en l'intérieur d'une frite.

La fluorescence naturelle de la structure cellulaire et le déplacement de l'huile marquée ont été détectés à l'aide d'une caméra photo-amplifiée et reconstruits en trois dimensions. Contrairement à ce que l'on pensait, la dynamique de pénétration de l'huile est apparue très hétérogène dans le temps et l'espace : quasi instantanée dans les cellules de la première couche et très lente dès la seconde couche. Elle est complètement contrôlée par le propre déplacement de la phase air. Dans des essais complémentaires reproduisant les conditions de refroidissement, il a été montré que l'huile pouvait traverser n'importe quel défaut – fussent-ils aussi petits que les plasmodesmes (0.1 µm de diamètre) entre les cellules – mais que la présence de bulles d'air piégées ou créées par l'écoulement pouvait ralentir voire complètement bloquer l'imprégnation en huile. Les profils de distribution de l'huile ont été confirmés par microtomographie aux rayons X.

L'ensemble de ces résultats ont été utilisés pour développer et valider le premier simulateur générique de l'imprégnation en huile à l'échelle des défauts microscopiques et des cellules (de 1 à 10<sup>6</sup> cellules). Il peut reproduire les profils d'imprégnation et leurs cinétiques pour de très nombreux produits à partir des seules structures tridimensionnelles et des conditions de refroidissement. Il a pu ainsi être démontré que, malgré un taux d'endommagement plus élevé, les produits industriels précongelés tendent à présenter une imprégnation moindre. La raison première est le faible nombre de défauts à la surface des frites (moins de 10 par cm de frite), où l'amidon a été gélatinisé avant friture.

Le logiciel de simulation de l'imprégnation en huile « uptake », sera progressivement disponible en open source. Il combine des solutions analytiques pour des écoulements immiscibles et un moteur de calculs de chemins de percolation à l'échelle cellulaire. La production de produits frits non-gras est aujourd'hui à portée de main.

#### Partenaires/Partnership :

Ligne DISCO du Synchrotron SOLEIL / Beamline DISCO at the SOLEIL Synchrotron, Orsay (93) <http://www.cepia.inra.fr/en/Tools-and-Resources/Soleil-Synchrotron>

#### En savoir plus/Read more :

VAUVRE, J.-M., PATSIOURA, A., KESTELOOT, R., & VITRAC, O. (2015). Multiscale modeling of oil uptake in fried products. *AIChE Journal*, 61(7), 2329–2353.  
 PATSIOURA, A., VAUVRE, J.-M., KESTELOOT, R., JAMME, F., HUME, P., & VITRAC, O. (2015). Microscopic imaging of biphasic oil-air flow in French-fries using synchrotron radiation. *AIChE Journal*, 61(4), 1427–1446.  
 VAUVRE, J.-M., KESTELOOT, R., PATSIOURA, A., & VITRAC, O. (2014). Microscopic oil uptake mechanisms in fried products. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(6), 741-755.

#### Contacts :

[olivier.vitrac@agroparistech.fr](mailto:olivier.vitrac@agroparistech.fr), [anna.patsioura@agroparistech.fr](mailto:anna.patsioura@agroparistech.fr)  
 INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL) / FOOD PROCESS AND ENGINEERING  
 AgroParisTech - INRA - CNAM, MASSY

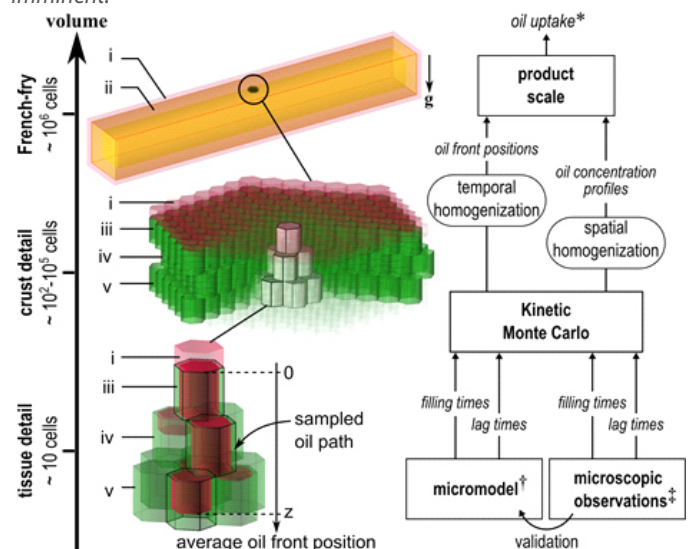
### Are low-fat fried products coming soon?

*Oil penetrates deep-fried products (French fries, potato chips, nuggets) primarily when they are removed from the oil bath. During the immersion stage, steam escaping through the crust prevents oil penetration, whereas oil tends to fill the voids left by water during cooling. The role of air as an incondensable phase was previously unknown. These two rapid phenomena have been imaged and modeled at the microscopic scale for the first time using the radiation of the SOLEIL synchrotron in a configuration equivalent to the one where the detector is positioned inside a French fry.*

*The natural fluorescence of the cell structure and the displacement of dyed oil were monitored using a photo-amplified camera and then reconstructed in three dimensions. Contrary to what we initially thought, the dynamics of oil penetration is very heterogeneous in time and space: it is almost instantaneous in the cells of the first layer and very slow in the cells of the second one. It is completely governed by the displacement of the air phase. In additional tests that reproduced the cooling conditions, it was shown that oil can pass through any type of defect in the cell wall, even those as small as plasmodesmata (0.1 µm in diameter). Only trapped air in bubbles slows down or even completely blocks oil penetration. 3D profiles of oil distribution were confirmed by X-ray micro-computed tomography.*

*These results were used to develop and validate the first generic simulator of oil penetration at scales varying from the size of microscopic defects to the entire product, including up to one million parenchyma cells, and capable of simulating the penetration profiles and their kinetics for various products using three-dimensional resolved structures and process conditions as inputs. It was thus demonstrated that, despite their higher tissue damage, industrial par-fried frozen products tend to absorb less oil. The chief reason is the lower number of defects on the surface of industrial French fries (less than 10 per cm of French fry), where starch was gelatinized prior to frying.*

*The simulation software of oil penetration, referred to as «uptake», will be gradually made available as a collaborative open-source project. It combines analytical solutions for immiscible flows and a kinetic Monte Carlo approach. The design of new low-fat products is therefore imminent.*



Principes de la modélisation et simulation multiéchelles de la prise d'huile dans une frite réelle.  
 Principles of multiscale modeling and simulation of oil uptake in a real French-fry.

(i) oil adhering to the surface; (ii) dried potato crust; (iii) first cell layer; (iv) second cell layer; (v) third cell layer

# TRANSFERT, INNOVATION

## TRANSFER, INNOVATION

### Produire de la poudre de lactosérum en économisant 30 à 40 % d'énergie : une rupture technologique !

La production de poudres de lactosérum et de perméat comporte deux étapes essentielles d'élimination d'eau : la concentration par évaporation sous vide suivie du séchage par atomisation/pulvérisation. Ces deux opérations représentent à elles seules 25 % de l'énergie consommée dans l'industrie laitière française dont une part importante est due à l'étape de séchage.

En effet, 96,7 % de l'eau du lactosérum est enlevée lors de l'étape de concentration par évaporation sous vide tandis que le séchage, qui ne permet d'éliminer que 3,3 % de l'eau du produit, nécessite 31 % de l'énergie totale dépensée au long du procédé.

L'une des possibilités pour réduire la consommation énergétique était de rentrer le produit dans la tour à un extrait sec plus élevé. Nous avons ainsi imaginé remplacer la tour de séchage par des évaporateurs rotatifs, équipements adaptés à des produits hautement visqueux et capables de passer d'un état liquide continu à un état granulaire.

Le procédé débute normalement avec la concentration du lactosérum/perméat de 6 à 60 % d'extrait sec dans des évaporateurs sous vide, suivie de la cristallisation en cuve du concentré. Mais, au lieu d'être dirigé vers la tour de séchage, le concentré subit une surconcentration de 60 à 80 % d'extrait sec dans un évaporateur rotatif à couche mince. Ce surconcentré, très pâteux, est alors granulé dans un 2ème évaporateur rotatif à couche mince avec un recyclage de la poudre issue de la fabrication précédente. Les granules obtenues sont séchées sur un lit fluidisé jusqu'à 96-97 % d'extrait sec.

Ce procédé breveté PST (Poudre Sans Tour), constitue une véritable rupture technologique pour la fabrication de poudres de lactosérum aux propriétés physiques et de réhydratation comparables à celles obtenues avec une tour de séchage. Il a été validé sur des installations pilotes produisant 50 kg.h<sup>-1</sup> de poudre et consomme significativement moins d'énergie. Sur la base de calculs théoriques, le coût énergétique revient à 7,2 MJ/t de poudre pour le procédé PST contre 11,9 MJ/t de poudre pour le procédé classique, soit un gain énergétique de 40 %. La mise en place des équipements ne requiert pas d'investissement immobilier, tel que le coût de construction d'un bâtiment pour accueillir une tour, soit une économie supplémentaire de l'ordre de 40 % des dépenses d'installation.

Nous entrons dans une phase de développement préindustriel du procédé pour l'optimiser et développer son application à d'autres poudres alimentaires (maltodextrine, sucres...).

### Production of lactose powders with a 30 – 40% reduction in energy costs : a technological breakthrough!

*There are two essential stages in the elimination of water for the production of whey and permeate powders: concentration by vacuum evaporation, followed by spray drying. These two operations alone represent 25% of the energy consumed by the French dairy industry, the major part of which is due to the drying stage. Indeed, 96.7% of the lactose whey water is removed during the vacuum evaporation/concentration stage, whereas drying, which removes only 3.3% of the water, requires 31% of the total energy used over for the entire process.*

*One possible way to reduce energy consumption would be for the product to enter the drying tower at a higher level of dryness. We therefore propose replacing the drying tower with rotating evaporators, i.e., equipment adapted to highly viscous products able to pass from a liquid state to a granular state by a continuous process. The process normally begins as normal with the concentration of the whey/permeate from 6 to 60% dry matter in vacuum evaporators, followed by crystallization of the concentrate in a tank. However, instead of passing through a drying tower, the concentrate then undergoes 60–80% superconcentration in a rotating fine thin-layer evaporator. This highly viscous superconcentrate is then granulated in a second fine thin-layer evaporator to recycle the powder created by the previous process. The granules thus obtained are then dried on a fluid bed to 96-97% dry matter.*

*The patented PST process (Poudre Sans Tour/Towerless Powder) constitutes a true technological breakthrough in the manufacture of lactose powders, with physical and rehydration properties comparable to those obtained with a drying tower. It has been validated on pilot equipment that produces 50 kg.h<sup>-1</sup> powder and consumes significantly less energy. On the basis of theoretical calculations, the energy cost is 7.2 MJ/t of powder with the PST process, compared to 11.9 MJ/t with the classical process, i.e., an energy savings of 40%. Moreover, the setting up of the equipment does not require location a real estate investment such as the construction of a building to accommodate a tower, thus providing an additional savings of approximately 40% on the costs of installation costs.*

*We are beginning a pre-industrial phase using the process in order to optimize and develop its application to other food powders (maltodextrin, sugars, etc.).*

#### Partenaires/Partnership :

Société VOMM Daniel Garreau, Consultant, Mayenne (53)

#### En savoir plus/Read more :

Brevet PST n°1457413 déposé le 31/07/2014 «Poudres laitières» / Patent n°1457413 «Milk powders» Schuck P., Jeantet R., Tanguy G., Méjean S., Gac A., Lefebvre T., Labussière E., Martineau M. Energy consumption in the processing of dairy and feed powders by evaporation and drying. *Drying Technol.* 33: 176–184 (2015).

#### Contacts : pierre.schuck@rennes.inra.fr

Pierre Schuck, Gaëlle Tanguy, Anne Dolivet, Serge Méjean, Romain Jeantet, SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO) / SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG - INRA Rennes – AgroCampus Ouest

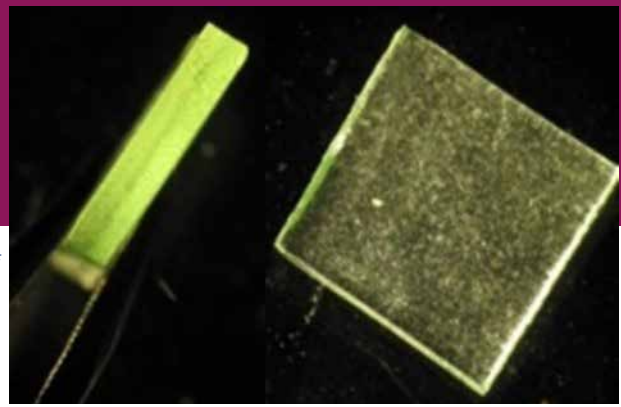




# TRANSFERT, INNOVATION

## TRANSFER, INNOVATION

Plaques en amidon extrudé sur lesquelles sont réalisées les études *in vitro* et les implantations *in vivo* / Sheets of extruded starch for *in vitro* studies and *in vivo* implants  
© Inra



## Des matériaux en amidon pour des implants biomédicaux

Les chirurgiens sont très demandeurs d'implants réalisés avec des matériaux biocompatibles et biorésorbables sur des durées relativement courtes, de l'ordre de quelques jours à quelques semaines. Par exemple, après certaines interventions chirurgicales il est nécessaire de poser un support afin de protéger un tissu pendant le temps de sa cicatrisation. Sa biorésorbabilité (ou biodégradabilité) permettra d'éviter une seconde intervention chirurgicale pour le retrait. Les molécules naturelles, et particulièrement les polysaccharides, sont des candidats intéressants car ils sont bien acceptés par les patients et ont de bonnes aptitudes à la biocompatibilité.

Parmi les polysaccharides, l'amidon présente l'avantage d'être abondant, bon marché et des objets massifs en trois dimensions peuvent être mis en forme. De plus, les propriétés de mémoire de forme mises en évidence pour ces matériaux il y a quelques années, peuvent être utilisées dans le cadre d'une chirurgie peu invasive.

Nous avons fabriqué des « plaques » de 2 mm d'épaisseurs à partir d'amidons extraits de pomme de terre et de maïs, avec éventuellement l'ajout d'une molécule plastifiante, le glycérol. L'évolution *in vitro* de la structure et des propriétés de ces matériaux immergés dans un liquide physiologique à 37°C s'est révélée fortement dépendante de la matière première utilisée. Les meilleurs résultats ont été obtenus avec l'amidon de pomme de terre plastifié avec 20 % de glycérol qui montre un gonflement très modéré et des propriétés mécaniques stables avec un module élastique entre 1 et 2 MPa sur une période de plus de deux mois. Ce comportement a été attribué à la cristallinité des matériaux qui est de l'ordre de 25 %.

L'implantation sur des rats montre une excellente biocompatibilité dans le cas de l'amidon de pomme de terre alors que l'amidon de maïs induit une inflammation des tissus attribuée à la présence de protéines minoritaires. A partir de ces résultats, des dispositifs en forme de stent à mémoire de forme et de tubes ont été réalisés pour le traitement post opératoire faisant suite à l'extraction de calculs dans les glandes salivaires. Des essais d'implantation ont été menés sur des cochons.

**Partenaires/Partnership :** INSERM Paris, Laboratoire de bio-ingénierie cardiovasculaire pour la thérapie et pour l'imagerie médicale - Chirurgiens des hôpitaux de Lyon et de Toulon. Financement ANR projet IRMAS et Région Pays de Loire (Thèse de Diégo Vélasquez) / INSERM Paris for therapy and medical imaging - Surgeons from Lyon and Toulon Hospitals. Fundings by ANR (National Research Agency) IRMAS Project and by the Region Pays de Loire (Phd Diégo Vélasquez)

### En savoir plus/Read more :

VELASQUEZ D., PAVON-DJAVID G., CHAUNIER L., MEDDAHI-PELLÉ A., LOURDIN D. Effect of Crystallinity, Plasticizer Content and Botanical Origin of Starch-Based Materials on Mechanical Properties and *In Vivo* Tissue Integration, Carbohydrate Polymers, 124, 180-187, 2015.

**Contact :** Denis.Lourdin@nantes.inra.fr

INRA-Angers-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES

## S

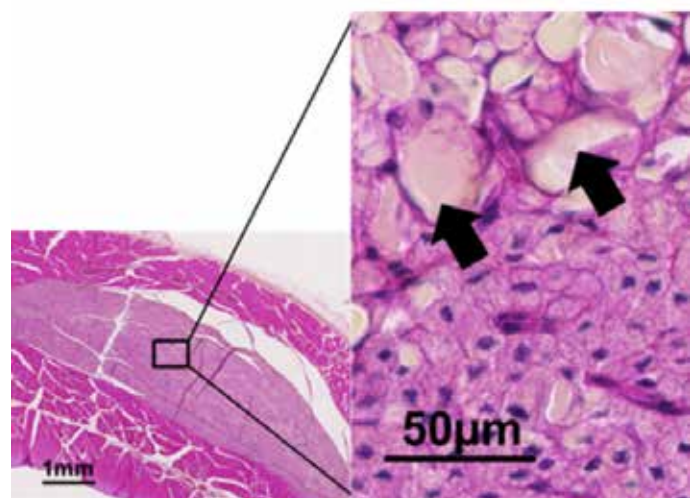
### tarch materials for biomedical implants

*There is a high demand by surgeons for implants based on biocompatible and biodegradable materials to be used for relatively short periods ranging from several days to a few weeks. For example, after some operations, it is necessary to insert a device to protect a tissue while it heals. Its bioresorbability (or biodegradability) makes it possible to avoid a second operation to remove it. Natural molecules, particularly polysaccharides, are interesting candidates because they are well accepted by the patient and present good biocompatibility.*

*Among the polysaccharides, starch has the advantage of being abundant and cheap, and capable of forming large 3D objects. Moreover, the shape memory properties demonstrated several years ago for these materials can be used for minimally invasive surgery.*

*Two-mm thick « sheets » were produced from potato and corn starch, with the possible addition of glycerol, a plasticizer molecule. The evolution *in vitro* of the structure and properties of these materials immersed in physiological liquid at 37°C revealed a strong dependence on the raw material used. Potato starch plasticized with 20% glycerol presented the most interesting properties, with very little swelling and stable mechanical properties, with an elastic modulus of between 1 and 2 MPa over a period of two months. This behavior was attributed to the crystallinity of the materials, on the order of 25%.*

*Potato starch showed excellent biocompatibility after implantation in a rat model, whereas cornstarch led to inflammation of the tissues, probably due to the presence of minority proteins. On the basis of these results, shape memory starch devices in the form of stents and tubes were made for post-surgical treatment, following stone removal in salivary glands. Implantation trials were performed on pigs.*



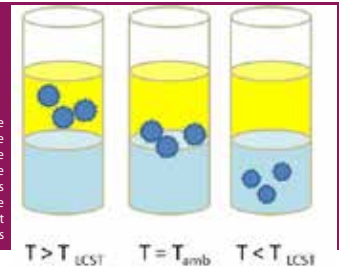
Coupe histologique après 30 jours d'implantation chez le rat. L'ensemble de l'échantillon est montré sur la photo de gauche, l'amidon encore présent après 30 jours est montré sur la photo de droite.

*Histologic cut after a 30-day implant in rat. The overall sample is shown on the left; the starch remaining after 30 days is shown on the right.*

# TRANSFERT, INNOVATION

## TRANSFER, INNOVATION

Affinité des microgels pour l'eau ou l'huile en fonction de la température. A température ambiante ( $T_{amb}$ ), elles se positionnent à l'interface huile-eau. A une température supérieure à la température critique du copolymère greffé sur l'alginate (température LCST), les microgels migrent dans l'huile. A l'inverse, pour une température inférieure à la température critique, les microgels migrent dans l'eau © INRA BIA-Nano Nantes



Affinity of the microgels for water or oil according to the temperature. At room temperature ( $T_{amb}$ ) they self-positioned at the interface oil-water. At a temperature over the critical temperature of the copolymer grafted on the alginate (temp LCST) the microgels migrate in the oil. On the opposite, at a temperature lower than the critical temperature, the microgels migrate into the water

## L'important dans l'impression 3D, c'est la connexion des pores !

L'impression 3D envahit tous les domaines industriels y compris les applications relevant de la valorisation de produits végétaux pour des usages alimentaires ou non alimentaires ; des produits performants et innovants peuvent voir le jour mettant en valeur les fonctionnalités de la ressource végétale. Mais ce succès est conditionné par la maîtrise du procédé en particulier celle du risque de porosité du matériau imprimé.

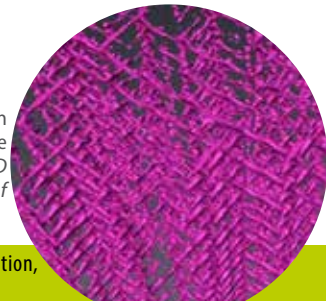
Dans cette étude, nous avons établi l'importance dans le comportement mécanique de l'objet imprimé des défauts induits par le procédé d'impression à fil fondu. Grâce à la combinaison de l'imagerie 3D et la modélisation numérique, cette étude révèle une forte connectivité du réseau poreux (jusqu'à 85 % des pores sont connectés) induit par l'impression d'un cube dense de matière. Cette connectivité est associée à une faible teneur en porosité (moins de 6 %). La modélisation du comportement mécanique démontre que la qualité de l'impression 3D est liée à la nature de la cohésion entre les filaments. Ces résultats permettent d'envisager une nouvelle forme de texturation des produits céréaliers facile à mastiquer grâce à la porosité générée par l'impression 3D, ou encore l'exploration des fonctionnalités d'un milieu biocompatible perméable pour la valorisation de la ressource végétale dans le biomédical

Réseau poreux induit par l'impression 3D (procédé fil fondu) d'un cube dense de matière / Porosity provoked by 3D printing (fused deposition modeling) of a dense block of matter

## What matters the most in 3D printing is pore connection!

3D printing has invaded every aspect of industry, including the enhancement of plant products for food and non-food uses. It is now possible to imagine innovative and high-performance products that will focus on the specific functionalities of plant resources. However, this success depends on our improved knowledge of the process, especially on the management of the porosity risk of the printed material.

This research work has allowed us to address the nature and extent of defects induced by a particular 3D printing process based on fused deposition modeling (FDM). By combining 3D imaging and numerical modeling, this study has revealed the strong connectivity of the porous network induced by the processing of a dense block (up to 85% of the pores are connected). This connectivity is linked to a low porosity level (less than 6%). Modeling of the mechanical performance shows that the quality of 3D printing is linked to the type of cohesion between the filaments. These results make it possible to imagine a new texture for cereal products that would be easy to chew as a result of the porosity generated by 3D printing, or perhaps the exploration of the functionalities of a permeable biocompatible medium for the enhancement of plant resources in the biomedical field.



## Microgels d'alginate stimulables pour la libération contrôlée d'actifs et la stabilisation d'interfaces

Les polymères stimulables sont capables de se rétracter ou gonfler en fonction de la température, du pH, ou de la force ionique, même lorsque le polymère est réticulé pour former un hydrogel.

Nous avons modifié un polymère d'origine marine, l'alginate, par une chimie de greffage covalent sur les groupements carboxyliques d'un copolymère stimulant, l'oxyde d'éthylène et de propylène, sensible à la température aux propriétés amphiphiles dues à la présence de groupements hydrophile et hydrophobe. Avec la microfluidique à gouttes, selon le nombre de copolymères greffés initialement sur la chaîne d'alginate, nous avons obtenu des microgels de taille comprise entre 60 et 80 nm aux propriétés thermo-sensibles et amphiphiles comparables à la chaîne d'alginate modifiée isolée. Ils abaissent la tension interfaciale d'environ 50% lorsqu'ils sont placés à une interface huile-eau et se contractent d'environ 10 à 20% en taille lorsque la température est supérieure à la température critique du copolymère ( $T = 20^\circ\text{C}$ ). Enfin, la réversibilité du caractère thermo-sensible a été démontrée en étudiant l'affinité des microgels pour une interface huile-eau avec la température.

Les potentialités de ces microgels d'alginate de taille parfaitement contrôlée pour des applications biomédicales et pharmaceutiques sont nombreuses en particulier dans la libération d'actifs sur demande.

## Stimuli-responsive alginate microgels for the controlled delivery of active substances and the stabilization of interfaces

Stimuli-responsive polymers are able to shrink or swell as a function of temperature, pH and ionic strength, even when the polymer is cross-linked to form a hydrogel. We modified a polymer of marine origin, alginate, using chemical covalent grafting on the carboxyl groups of a stimulant copolymer, ethylene and propylene oxide, sensitive to temperature, to amphiphilic properties due to the presence of hydrophilic groups, and hydrophobic. Using droplet microfluidics and depending on the number of copolymers originally grafted on the alginate chain, we obtained microgels ranging from 60 to 80 nm with thermo-sensitive and amphiphilic properties comparable to the isolated modified alginate chain. These microgels lower the surface tension by approximately 50% when they are placed at an oil-water interface and shrink by approximately 10 to 20% in size when the temperature is above the critical temperature of the copolymer ( $T = 20^\circ\text{C}$ ). Finally, the reversibility of the thermo-sensitive character was revealed by studying the affinity of microgels for an oil-water interface as a function of temperature.

The potential biomedical and pharmaceutical applications of these alginate microgels whose size can be totally controlled are numerous, particularly for the release of active substances on demand.

**Partenaires/Partnership :** IBSM Federation, CNRS, Ecole des Mines de Douai

**En savoir plus/Read more :** Guessasma, S., Belhabib, S., Nouri, H., 2015. Significance of pore percolation to drive anisotropic effects of 3D printed polymers revealed with X-ray mu-tomography and finite element computation. *Polymer* 81, 29-36.  
Ben Hassana, O., Guessasma, S., Belhabib, S., Nouri, H., 2016. Explaining the Difference Between Real Part and Virtual Design of 3D Printed Porous Polymer at the Microstructural Level. *Macromolecular Materials and Engineering*, DOI: 10.1002/mame.201500360

**Contact :** sofiane.guessasma@nantes.inra.fr

INRA-Angers-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLIES

**Partenaires/Partnership :** UMR 6270 CNRS-Université de Rouen, Laboratoire Polymères, Biopolymères, Surfaces ; Laboratoires Brothier, Fontevraud l'abbaye ; Institut des Matériaux Jean Rouxel, Nantes

**En savoir plus/Read more :** C. Karakasyan, J. Mathos, S. Lack, J. Davy, M. Marquis, D. Renard (2015) Microfluidics-assisted generation of stimuli-responsive hydrogels based on alginates incorporated with thermo-responsive and amphiphilic polymers as novel biomaterials. *Colloids and Surfaces B*, 135, 619-629

**Contact :** denis.renard@nantes.inra.fr

INRA-Angers-Nantes BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)/ BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLIES



# TRANSFERT, INNOVATION

## TRANSFER, INNOVATION

Farinage = halo entourant le matériel végétal au centre de l'image / Chalking: halo effect around the hemp material at the center of the picture



### Bétons de chanvre: L'interface, une zone à contrôler

L'incorporation de chènevotte, un co-produit du défibrage du chanvre, dans une matrice de chaux/ciment confère au béton léger obtenu des propriétés de régulation hydriques et thermiques remarquables pour des usages dans le bâtiment. Mais, un phénomène rare encore mal maîtrisé fait que le liant (ciment/chaux), ne prend pas lors de sa mise en œuvre avec la chènevotte et l'eau. Le résultat, appelé farinage, est la formation d'une poudre sans tenue mécanique qui enrobe la chènevotte, avec des conséquences graves sur l'intégrité du matériau.

En utilisant des plantes marquées au  $^{13}\text{C}$  pour tracer la diffusion des molécules du matériel végétal dans le matériau au cours de sa prise, nous avons montré que la nature des composés extraits par les liants ainsi que leurs concentrations locales, impactent fortement sur l'intensité des désordres, notamment des retards à la prise non récupérables. Ce phénomène est de plus dépendant des cultivars desquels proviennent les différentes chènevottes industrielles utilisées. Une reconstitution des gradients de teneur en  $^{13}\text{C}$  au cours de la prise a ainsi permis de cartographier précisément quand et jusqu'où les molécules organiques migrent et d'établir une relation directe avec l'inhibition de la prise des liants.

Nous connaissons maintenant les cibles à contrôler à des stades clés de la prise du liant pour éliminer le farinage: empêcher les molécules de sortir de la paroi végétale, limiter leur diffusion ou les capter «en cours de route».

### Concrete composites with hemp shiv: spotlight on the interface

*The incorporation of shiv, a woody co-product of the hemp fiber industry, into a lime/cement matrix results in a lightweight concrete with excellent humidity and thermal regulating properties that can be used for new or renovated buildings. However, a poorly understood and rare phenomenon may occur when the binder (lime/cement) does not set after it is mixed with the shiv and water. The result, known as chalking, is the formation of a powder with no mechanical properties that coats the shiv, strongly affecting the integrity of the material.*

*By using  $^{13}\text{C}$ -labeled plants to trace the diffusion of molecules of the plant aggregates in the material during setting, we have shown that the nature of the compounds extracted by the binders and their local concentrations strongly impact the intensity of chalking disorders. This phenomenon is furthermore dependent on the cultivars from which the industrial shive is produced.*

*A graph of the  $^{13}\text{C}$  content gradients during the setting process enabled us to accurately map when and how far organic molecules migrate, and to establish a direct connection with the modification of the setting mechanisms.*

*We now know the targets to be monitored at key stages of the binder setting to limit chalking: prevent molecules from leaving the cell wall, limit their dissemination, or capture them after they have escaped.*

### Une solution naturelle pour préserver la qualité des liquides alimentaires

Certains composés oxydés formés au cours de la conservation des vins modifient leur balance aromatique, ou provoquent le brunissement de leur couleur. Les études l'expliquent par la forte consommation d'oxygène par les levures, même après une perte totale de viabilité. Ce phénomène pourrait donc être utilisé pour protéger les vins contre l'oxydation pendant leur conservation afin de limiter l'usage des sulfites.

Différentes préparations dérivées de levures ont donc été criblées sur la base de leurs capacités de consommation d'oxygène, de façon à pouvoir les tester lors de la conservation de vins sensibles à l'oxydation. La mise en œuvre à l'échelle pilote de ces levures inactivées sélectionnées sur des vins blancs et rosés lors de leur conservation en cuve a permis de montrer le rôle important de protection contre l'oxydation joué par ces nouveaux intrants biologiques, qui peuvent se substituer en grande partie aux sulfites généralement ajoutés aux vins pour ce même rôle.

Les résultats obtenus montrent que de telles levures inactivées spécifiquement sélectionnées représentent une alternative innovante pour la protection des vins et une excellente aide à la réduction de l'utilisation des sulfites pour préserver les vins stockés d'une évolution oxydative sans affecter leur équilibre sensoriel.

### A new natural solution to maintain the quality of beverages

*Some oxidized compounds formed during the storage of wines are responsible for the modification of their aromatic balance or the browning of their color. Numerous scientific studies have revealed the high consumption of oxygen by anaerobic-grown yeast cells, even after their death. Such a phenomenon could be used to protect wines from oxidation during their storage in order to limit the use of sulfites.*

*Various preparations of yeast derivatives were screened on the basis of their oxygen consumption capacities in order to test their effect during the storage of wines sensitive to oxidation. Experimental trials performed with these selected inactivated yeasts on white and rosé wines during their storage in tanks made it possible to demonstrate the important protective role against oxidation played by these new biological products, which can thus be largely substituted for the sulfites generally added to wines for this purpose. The results obtained show that such specifically selected inactivated yeasts represent an innovative alternative for the protection of wines and an excellent support for the reduction of sulfites use to protect wines from oxidation during storage without affecting their sensory balance. This new product, known as «Pure-Lees Longevity», is marketed under license in France by the IOC (Institut Œnotechnique de Champagne) and abroad by Lallemand Inc.*

**Partenaires/Partnership :** «Pure-Lees Longevity» commercialisé en France par l'IOC (Institut Œnotechnique de Champagne) et à l'étranger par la société Lallemand/ «Pure-Lees Longevity» is marketed, under license, in France by the IOC (Œnotechnique Institute of Champagne) and abroad by the Lallemand company.

#### En savoir plus/Read more :

Sieczkowski N., Ortiz-Julien A., Garcia E., Samson A., Caillé S., Salmon J.M. 2015. Une nouvelle levure inactivée spécifique comme solution naturelle pour la maîtrise de l'oxygène et la conservation de la qualité des vins en élevage. Partie 1/2 : Mise au point et preuve de concept. 159, Avril 2016, 25-29. Partie 2/2 : Validation en situations pratiques de cave. Revue des œnologues, sous presse.

**Contact :** [jmsalmon@supagro.inra.fr](mailto:jmsalmon@supagro.inra.fr)

Jean-Michel Salmon, INRA PECH ROUGE (UE PR) / PECH ROUGE EXPERIMENTAL UNIT

**Partenaires/Partnership :** ENTPE de Lyon Coordinateur du projet ANR Ademe PREBAT 2C2E

**En savoir plus/Read more :** Diquélou Y, Gourlay E, Arnaud L, Kurek B. Impact of hemp shiv on cement setting and hardening: Influence of the extracted components from the aggregates and study of the interfaces with the inorganic matrix. *Cement & Concrete Composites* 2015, 55, 112-121

Diquélou Y, Gourlay E, Arnaud L, Kurek B. Influence of binder characteristics on the setting and hardening of hemp lightweight concrete; *Construction and Building Materials* 2016, 112, 506-517

**Contact :** [bernard.kurek@reims.inra.fr](mailto:bernard.kurek@reims.inra.fr) - FRACTIONNEMENT DES AGRO-RESSOURCES ET ENVIRONNEMENT (UMR FARE) / FRACTIONATION OF AGRICULTURAL RESOURCES & ENVIRONMENT INRA - Université de Reims Champagne Ardenne



Depuis 2010, le gouvernement français a mis en place le programme « Investissements d'avenir » pour favoriser la recherche et l'innovation dans des secteurs stratégiques (Biotechnologies, développement durable, etc.). Voici quelques exemples de l'implication de nos équipes dans certains des projets sélectionnés.

*In 2010, the French government launched the «Investments for the future» plan, providing significant funding for the development of key enabling technology and infrastructure. The following examples highlight CEPIA's involvement in some of the funded initiatives.*

Pour en savoir plus/read more : [investissement-avenir.gouvernement.fr](http://investissement-avenir.gouvernement.fr)



### Des Instituts Carnot <http://www.instituts-carnot.eu>

**Qualiment®**, un réseau spécialisé en nutrition-sensorialité-comportement alimentaire-structure des aliments-procédés.  
<http://www.qualiment.fr>



### Carnot Institutes <http://www.instituts-carnot.eu>

**Qualiment**, specialized in nutrition-sensory perception-consumer behavior-food structure-food process.  
<http://www.qualiment.fr>

**3BCAR** pour le développement de l'usage des ressources renouvelables dans les domaines de l'énergie, de la chimie et des matériaux.  
<http://www.instituts-carnot.eu/fr/3BCAR>



**3BCAR** for the development of renewable bioresources uses in the fields of energy, chemistry and materials.  
<http://www.instituts-carnot.eu/fr/3BCAR>

### Un leadership scientifique dans :

**Toulouse White Biotechnology (TWB)** est un démonstrateur pré-industriel pour les applications du carbone renouvelable. L'activité de ce centre d'excellence consiste à concevoir des outils biologiques (microorganismes, consortia microbiens et enzymes) qui seront implantés au cœur de procédés industriels innovants et rentables. Ces procédés ouvrent de nouvelles voies de production durable, permettant la synthèse de molécules énergétiques (biocarburants), d'intermédiaires pour la chimie, de biomatériaux ou encore de bio-polymères à partir de carbone renouvelable.

[www.toulouse-white-biotechnology.com](http://www.toulouse-white-biotechnology.com)



### A scientific leadership in the programmes:

**Toulouse White Biotechnology (TWB)** is a pre-industrial demonstrator for renewable carbon applications. The activity of this centre of excellence focuses on the design of biological tools (microorganisms, microbial and enzyme consortia) that will be implemented at the very heart of innovative and profitable industrial processes. These processes pave the way for sustainable production, enabling the synthesis of energy molecules (biofuels), intermediate products for the chemical industry, biomaterials and biopolymers from renewable carbon.

[www.toulouse-white-biotechnology.com](http://www.toulouse-white-biotechnology.com)

**ProBio3**, un projet Biotechnologies et Bioressources, sera la première plateforme de production de lipides microbiens à partir de ressources renouvelables non alimentaires avec pour ambition le développement de procédés durables de production de biocarburants pour l'aéronautique.

**ProBio3** is a biobased and biotechnology project. It will be the first platform to produce microbial lipids from non-food renewable resources, with the goal of developing sustainable biofuel production processes for the aeronautics industry.

### Partenaires de :

**IMPROVE**, Institut Mutualisé pour les PROTéines VEgétales, est une plateforme d'innovation en partenariat public/privé. Le projet vise à répondre à la demande croissante en protéines pour de nouveaux marchés dans les domaines de l'alimentation humaine et animale, des biomatériaux, des cosmétiques et de la chimie.

<http://www.improve-innov.com>



### A partnership in the programs:

**IMPROVE: Mutualized institute for plant proteins**, is an innovation platform based on a public/private partnership. This project aims to respond to market demands for proteins in the areas of foodstuff and animal feed, biomaterials, cosmetics and chemicals.

<http://www.improve-innov.com>

**IFMAS (Institut Français des Matériaux Agro-Sourcés)**, Institut d'Excellence ayant pour objectif de développer de nouveaux matériaux et peintures à partir de résines végétales issues de ressources renouvelables européennes riches en amidon, comme les céréales et la pomme de terre féculière.

[www.polemaud.com/actualites-pole-competitivite/projet-ifmas.html](http://www.polemaud.com/actualites-pole-competitivite/projet-ifmas.html)



**IFMAS (French Institute for Agro-based Materials)**, Excellence Institute that aims to develop new materials and paint from plant resins derived from starch-rich renewable European resources, such as cereals and starch potatoes.

[www.polemaud.com/actualites-pole-competitivite/projet-ifmas.html](http://www.polemaud.com/actualites-pole-competitivite/projet-ifmas.html)

**SINFONI**, Structuration d'une filière des fibres techniques d'origine végétale (lin, chanvre) utilisées en tant que matériaux, vise à créer les conditions d'utilisation à grande échelle des fibres d'origine végétale, en réunissant des acteurs industriels et académiques dotés d'un fort savoir-faire et complémentaires sur l'ensemble de la chaîne de valeur.

[competitivite.gouv.fr](http://competitivite.gouv.fr)



**SINFONI: Structuring of a sector devoted to plant-based technical fibres (flax, hemp) used as materials**, aims to create large-scale use conditions for plant-based fibres by bringing together industrial and academic actors with extensive know-how and complementary knowledge over the entire value chain.

[competitivite.gouv.fr](http://competitivite.gouv.fr)

Plates-formes technologiques  
*Experimental Platforms*

Plates-formes instrumentales  
*Analytical tools*

Plates-formes pour la recherche  
*Scientific research Platforms*

**Plate-forme de recherche en technologie laitière**  
*Dairy Technology Platform*

[http://www.rennes.inra.fr/plateforme\\_lait](http://www.rennes.inra.fr/plateforme_lait)  
Frederic.Gaucheron@rennes.inra.fr  
Gaelle.Tanguy@rennes.inra.fr



**Fournil expérimental**  
*Experimental bread-making*

Hubert.Chiron@nantes.inra.fr



**Biopolymères - biologie structurale**  
*Biopolymers - Structural Biology*

<http://www.bibs.inra.fr>  
Helene.Rognaux@nantes.inra.fr



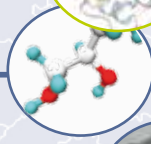
**Ingénierie et criblage d'enzymes originales**  
*Engineering and screening of original enzymes*

<http://iceo.genotoul.fr>  
iceo@insa-toulouse.fr



**Lipo-production-transformation des végétaux**  
*Production and transformation of plant lipids*

Zephirin.Mouloungui@ensiacet.fr



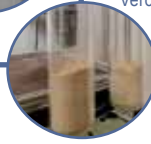
**Unité expérimentale Recherche œnologique de Pech Rouge**  
*Experimental unit for Oenology, Pech Rouge*

<http://www.montpellier.inra.fr/pechrouge>  
Hernan.Ojeda@supagro.inra.fr



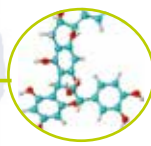
**Fractionnement des céréales et des agro-ressources**  
*Grain and Seed Fractionation*

<http://umr-late.cirad.fr/equipements/transformation-des-vegetaux>  
Claire.Mayer@supagro.inra.fr



**Polyphénols**  
*Polyphenols*

<http://www.montpellier.inra.fr/spo/structures-collectives/plate-forme-polyphenols>  
Veronique.Cheyrier@supagro.inra.fr



**Synchrotron Soleil**  
*Synchrotron facility*

<http://www.synchrotron-soleil.fr>  
Thierry.Chardot@versailles.inra.fr



**Plate-forme Logicielle PLASTIC Analyse des Signaux et leur Traitement, l'Intégration de données et des Connaissances**  
*Software platform*

<http://www.pfl-cepia.inra.fr>  
Bruno.Perret@grignon.inra.fr



**Plateau francilien d'études céréalières**  
*Cereals studies*

infofrece@agroparistech.fr



**ChemoSens**

<http://www.chemosens.inra.fr>  
chemosens@dijon.inra.fr



**Minifromagerie expérimentale**  
*Cheese-making*

Gabriel.Duboz@poligny.inra.fr



**Résonance Magnétique des Systèmes Biologiques**  
*Magnetic Resonance of Biological Systems*

<http://www.clermont.inra.fr/rmsb>  
Amidou.Traore@clermont.inra.fr



### Unités Mixtes Technologiques - Joint Technological Units

**NOVACIDRE**

Alain.Baron@rennes.inra.fr

**TECHNOFROM**

Eric.Beuvier@poligny.inra.fr

**APROCEL**

Alain.Kondjoyan@clermont.inra.fr

**QUALIVEG**

Catherine.Renard@avignon.inra.fr

**QUALINNOV**

Hernan.Ojeda@supagro.inra.fr

**NOVADUR**

Marie-Francoise.Samson@supagro.inra.fr



## CONTACTER NOS UNITÉS DE RECHERCHE / CONTACT OUR RESEARCH UNITS

### Alsace - Champagne-Ardenne - Lorraine

FRACTIONNEMENT DES AGRO-RESSOURCES ET ENVIRONNEMENT (UMR FARE)  
*FRACTIONATION OF AGRICULTURAL RESOURCES & ENVIRONMENT*

INRA – Université de Reims Champagne Ardenne  
Centre de recherche en environnement et agronomie  
51686 REIMS CEDEX 2  
Téléphone : +33 (0)3 26 77 35 92  
Bernard.Kurek@reims.inra.fr

### Aquitaine - Limousin - Poitou-Charentes

CŒNOLOGIE (USC Œ)

*CENOLOGY*

INRA - ISVV

Faculté d'Œnologie

33882 Villenave d'Ornon

Téléphone : +33 (0)5 57 57 58 60

Philippe.Darriet@oenologie.u-bordeaux2.fr

INSTITUT DE MÉCANIQUE ET D'INGÉNIERIE DE BORDEAUX (USC I2M)

*INSTITUTE FOR MECHANICS & ENGINEERING*

INRA – CNRS – Université Bordeaux

Campus Talence, 33405 Talence

Téléphone : +33 (0)5 40 00 27 92

Eric.Arquis@i2m.u-bordeaux1.fr

### Auvergne - Rhône-Alpes

QUALITE DES PRODUITS ANIMAUX (UR QUAPA)

*ANIMAL PRODUCT QUALITY*

INRA Site de Theix

63122 SAINT-GENÈS-CHAMPANELLE

Téléphone : +33 (0)4 73 62 41 90

quapa@clermont.inra.fr

### Bourgogne - Franche Comté

CENTRE DES SCIENCES DU GŔT ET

DE L'ALIMENTATION (UMR CSGA)

*CENTRE FOR TASTE & FOOD SCIENCE*

CNRS-INRA - Université de Bourgogne

21065 DIJON Cedex

Téléphone : +33 (0)3 80 68 16 41

Luc.Penicaud@u-bourgogne.fr

TECHNOLOGIE ET ANALYSES LAITIÈRES (UR TAL)

*DAIRY TECHNOLOGY & ANALYSIS*

INRA - 39801 POLIGNY Cedex 1

Téléphone : +33 (0)3 84 73 63 00

Eric.Beuvier@poligny.inra.fr

### Bretagne

SCIENCE ET TECHNOLOGIE DU LAIT ET DE L'ŒUF (UMR STLO)

*SCIENCE & TECHNOLOGY OF MILK & EGG*

INRA – AgroCampus Ouest

35042 RENNES Cedex

Téléphone : +33 (0)2 23 48 53 22

Joelle.Leonil@rennes.inra.fr

### Ile-de-France

INSTITUT JEAN-PIERRE BOURGIN (UMR IJPB)

INRA – AgroParisTech

78026 VERSAILLES Cedex

Téléphone : +33 (0)1 30 83 30 00

ijpb@versailles.inra.fr

GÉNIE ET MICROBIOLOGIE DES

PROCÉDÉS ALIMENTAIRES (UMR GMPA)

*FOOD PROCESS ENGINEERING & MICROBIOLOGY*

INRA – AgroParisTech

78850 THIVERVAL-GRIGNON

Téléphone : +33 (0) 1 30 81 54 87

François.Boué@grignon.inra.fr

INGÉNIERIE PROCÉDÉS ALIMENTS (UMR GENIAL)

*FOOD PROCESS AND ENGINEERING*

AgroParisTech - INRA – CNAM

91744 MASSY Cedex

Téléphone : +33 (0)1 69 93 51 27

Camille.Michon@agroparistech.fr

### Languedoc-Roussillon - Midi-Pyrénées

INGENIERIE DES AGROPOLYMERES ET

TECHNOLOGIES EMERGENTES (UMR IATE)

*EMERGING TECHNOLOGY*

*AND POLYMER ENGINEERING*

INRA – Montpellier SupAgro - CIRAD - Université

Montpellier

34060 MONTPELLIER Cedex 1

Téléphone : +33 (0)4 99 61 35 43

Devries@supagro.inra.fr

SCIENCES POUR L'ŒNOLOGIE (UMR SPO)

*SCIENCES FOR ŒNOLOGY*

INRA - Montpellier SupAgro - Université Montpellier

34060 MONTPELLIER Cedex 1

Téléphone : +33 (0)4 99 61 22 41

Jean-Marie.Sablayrolles@supagro.inra.fr

PECH ROUGE (UE PR)

*PECH ROUGE EXPERIMENTAL UNIT*

INRA – 11430 GRUISSAN

Téléphone : +33 (0)4 68 49 44 00

Hernan.Ojeda@supagro.inra.fr

CHIMIE AGRO-INDUSTRIELLE (UMR CAI)

*AGRO-INDUSTRIAL CHEMISTRY*

INRA - INPT - ENSIACET

31030 TOULOUSE Cedex 04

Téléphone : +33 (0)5 34 32 35 00

lca@ensiacet.fr

INGÉNIERIE DES SYSTÈMES

BIOLOGIQUES ET DES PROCÉDÉS (UMR ISBP)

*BIOSYSTEMS AND PROCESS ENGINEERING*

INRA - INSA - CNRS

31077 TOULOUSE CEDEX 4

Téléphone : +33 (0)5 61 55 94 01

direction\_lisbp@insa-toulouse.fr

TOULOUSE WHITE BIOTECHNOLOGY (UMS TWB)

31520 RAMONVILLE SAINT-AGNE

Téléphone : +33 (0)5 61 28 57 80

twb@toulouse.inra.fr

### Nord - Pas-de-Calais - Picardie

MATÉRIAUX ET TRANSFORMATIONS (UMR UMET)

*MATERIALS AND TRANSFORMATIONS*

CNRS – Université de Lille 1 – Ecole nationale

supérieure de Chimie – INRA

59651 VILLENEUVE-D'ASCQ Cedex

Téléphone : +33 (0)3 20 43 54 24

Alexandre.Legrès@univ-lille1.fr

### Pays de la Loire

BIOPOLYMERES, INTERACTIONS, ASSEMBLAGES (UR BIA)

*BIOPOLYMERS, INTERACTIONS, ASSEMBLIES*

INRA - 44316 NANTES Cedex 03

Téléphone : +33 (0)2 40 67 50 31

Equipe PRP : INRA - 35653 LE RHEU Cedex

Téléphone : +33 (0)2 23 48 52 16

biadir@nantes.inra.fr

SENSOMETRIE ET CHIMIOMETRIE (USC SC)

*SENSOMETRICS AND CHEMOMETRICS*

INRA – Oniris

44322 NANTES Cedex 3

Téléphone : +33 (0)2 51 78 54 50

Elmostafa.Qannari@oniris-nantes.fr

### Provence - Alpes - Côte d'Azur

BIODIVERSITE ET BIOTECHNOLOGIE FONGIQUES

(UMR BBF)

*FUNGAL BIODIVERSITY AND BIOTECHNOLOGY*

INRA - Aix-Marseille Université - Faculté des Sciences

13288 MARSEILLE Cedex 09

Téléphone : +33 (0)4 91 82 86 00

umrbcf@esil.univ-mrs.fr

SÉCURITE ET QUALITÉ DES PRODUITS

D'ORIGINE VÉGÉTALE (UMR SQPOV)

*SAFETY & QUALITY OF PLANT PRODUCTS*

INRA – Université d'Avignon et des Pays

de Vaucluse - Domaine Saint-Paul

84914 AVIGNON Cedex 9

Téléphone : +33 (0)4 32 72 25 00

Catherine.Renard@avignon.inra.fr

ARCHITECTURE ET FONCTION DES

MACROMOLÉCULES BIOLOGIQUES (USC AFMB)

*ARCHITECTURE AND FUNCTION OF BIOLOGICAL*

*MACROMOLECULES*

INRA - CNRS - Aix-Marseille Université

13288 MARSEILLE Cedex 09

Téléphone : +33 (0)4 91 82 55 60

secretariat@afmb.univ-mrs.fr



INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE

DEPARTEMENT Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture

DIVISION for Science and Process Engineering of Agricultural Products

B.P. 71627 ♦ 44316 Nantes Cedex 03 ♦ Tel: +33 (0)2 40 67 51 45 ♦ cepia@nantes.inra.fr

[www.cepia.inra.fr](http://www.cepia.inra.fr)



ALIMENTATION AGRICULTURE ENVIRONNEMENT