

Partenaires

Réalisé dans le cadre de la thèse de Christelle Planche codirigée par L. Debrauwer (UMR TOXALIM) et E. Engel (UR QuaPA) dans le cadre du projet ANR SOMEAT (2013-2017, <http://www.so-meat.fr/>).

Ce travail a impliqué 5 unités INRA (UR 370 QuaPA, UMR1331 TOXALIM, UMR 518 MIA, UR1303 ALISS, UR0083A), deux unités ANSES (Fougères Médicaments Vétérinaires, Maisons-Alfort Sécurité des Aliments) et un laboratoire de PONIRIS (LABERCA).

Références biblio.

Effects of pan cooking on micropollutants in meat

(2017) Food Chemistry
Planche C *et al.*

In Exposure assessment for dioxin-like PCBs intake from organic and conventional meat integrating cooking and digestion effects

(2017) Chemical Toxicology

Tressou J, Ben Abdallah N, Planche C, Dervilly-Pinel G, Sans P, Engel E, Albert I

CONTACT

Erwan Engel
erwan.engel@inra.fr
Qualité des Produits Animaux
(QUAPA)

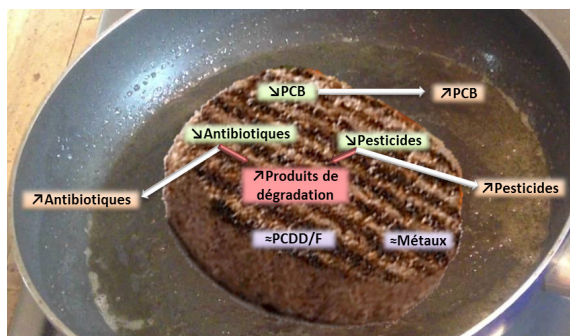
Effet de la cuisson sur les contaminants chimiques des aliments. Exemple de la viande

Des recherches récentes en chimie et toxicologie alimentaire suggèrent que la seule connaissance du niveau de contamination des produits de l'agriculture n'est pas suffisante pour évaluer leur impact sanitaire dans la mesure où certaines opérations de préparations culinaires comme la cuisson pourraient significativement moduler le risque chimique pour le consommateur. Nous avons étudié l'effet de la cuisson à la poêle sur les principaux contaminants chimiques susceptibles d'être retrouvés dans la viande. A partir de viandes intentionnellement multi-contaminées, des bilans matière avant et après cuisson ont été réalisés au moyen de méthodes d'analyse multi-résidus réalisées par les Laboratoires Nationaux de Référence pour les antibiotiques et les métaux lourds, et par l'unité de recherche INRA Qualité des Produits Animaux pour les micropolluants organiques environnementaux et les pesticides. Les phénomènes observés ont ensuite été validés à partir d'échantillons de viandes naturellement contaminées du vivant de l'animal.

► RESULTATS

L'étude a révélé des effets distincts de la cuisson suivant les types de contaminants chimiques. Alors que la cuisson n'a pas montré d'impact significatif sur la teneur de la viande en dioxines et en métaux lourds, des pertes d'autant plus importantes que l'intensité de cuisson était élevée ont été observées pour les polychlorobiphényles (PCBs), les antibiotiques et les pesticides. Elles étaient attribuables à des phénomènes d'expulsion *via* le jus de cuisson et/ou à des thermo-dégradations.

Pour préciser l'origine de ces pertes, des contaminants ciblés comme thermosensibles ont été radiomarqués et ajoutés à la viande avant cuisson. Ces composés ou leurs éventuels produits de dégradation, eux-aussi marqués, ont été suivis au cours de la cuisson. Une étude menée en collaboration avec l'unité TOXALIM et l'ANSES Fougères sur deux antibiotiques radiomarqués montre notamment une thermodégradation en cinq produits dans le cas du sulfaméthoxazole. Ces cinq produits ont pu être structurellement identifiés par Résonance Magnétique Nucléaire et Spectrométrie de Masse. D'autre part, concernant les PCBs, les effets modulateurs de la cuisson ont pu être pris en compte afin d'évaluer et de comparer les risques liés à la consommation de viandes issues de systèmes de production bio ou conventionnel.



Effet modulateur de la cuisson à la poêle sur les contaminants de la viande



Partenaires

Réalisé dans le cadre du projet SOMEAT (2013-2017, <http://www.so-meat.fr/>) financé par l'ANR dans le cadre de l'appel à projet ALID 2012.

Coordonné par l'UR QuaPA (E Engel), SOMEAT associait 6 autres unités INRA (UMR1331 TOXALIM, UMR 518 MIA, UMR210 ECOPUB, UR1303 ALISS, UMR1145 GENIAL, UR0083A), deux unités ANSES (Fougères Médicaments Vétérinaires, Maisons-Alfort Sécurité des Aliments), un laboratoire de l'ONIRIS (LABERCA) et trois instituts techniques (IFIP, ITAVI, IDELE).

Références biblio.

Micropollutants and chemical residues in organic and conventional meat

(2017) Food Chemistry
Dervilly-Pinel G *et al.*

In Exposure assessment for dioxin-like PCBs intake from organic and conventional meat integrating cooking and digestion effects

(2017) Chemical Toxicology
Tressou J *et al.*

CONTACT

Erwan Engel
erwan.engel@inra.fr
Qualité des Produits
Animaux (QUAPA)

Les viandes bio contiennent-elles moins de contaminants chimiques ?

Le conseil scientifique pour l'agriculture biologique soulignait en 2011 que 95% des consommateurs français citaient le bénéfice santé, notamment les faibles teneurs en contaminants chimiques, comme premier motif d'achat des produits « bio ». Aucune étude scientifique n'a cependant démontré clairement le bien-fondé de ces allégations. La première étude pluridisciplinaire visant à faire un état des lieux comparatif entre bio et conventionnel a été effectuée dans le cadre du projet ANR SOMEAT en prenant la viande comme modèle.

► RESULTATS

A partir d'un échantillonnage représentatif des productions aviaires, bovines et porcines françaises, 256 contaminants clés incluant des micropolluants environnementaux, des mycotoxines et des résidus de traitements vétérinaires ou phytosanitaires, ont été quantifiés par des méthodes à haute sensibilité et haute sélectivité. En parallèle, la consommation nationale de viande bio a été caractérisée par des approches d'économie. S'appuyant sur l'ensemble de ces données, l'évaluation du risque chimique a été réalisée par une démarche bayésienne intégrant l'incidence modulatrice des processus de cuisson et de digestion.

Le projet a révélé de façon rassurante que pour l'ensemble des contaminants chimiques recherchés les niveaux de contamination sont en deçà des valeurs réglementaires européennes, que ce soit en bio ou en conventionnel. L'absence de certains résidus vétérinaires en bio confirme également le bon respect du cahier des charges par les éleveurs. En revanche, en permettant la quantification des contaminants chimiques issus de l'environnement en deçà des limites réglementaires, le projet a permis de montrer des teneurs significativement plus élevées de ces contaminants dans les viandes issues de l'agriculture biologique. Qu'il s'agisse de porcs, de volailles ou de bovins, les durées d'élevage supérieures et l'accès systématique aux parcours extérieurs pourraient notamment être à l'origine d'une bioaccumulation accrue de polluants environnementaux en systèmes d'élevage bio.

► PERSPECTIVES

Ces résultats pourraient conduire à terme à une évolution des cahiers des charges de production dans les filières bio.



Partenaires

Ce projet a bénéficié des dispositifs expérimentaux du projet ANR SOMEAT (2013-2017, <http://www.so-meat.fr/>), notamment des élevages expérimentaux d'animaux exposés ou non à une alimentation contaminée par différents types de contaminants chimiques.

L'approche algorithmique de détection automatique et systématique des composés volatils contenus dans les signaux volatolomiques a été développée en partenariat avec le CATI DIISCO.

Références biblio.

Solid-phase microextraction set-up for the analysis of liver volatolome to detect livestock exposure to micropollutants

(2017) Journal of Chromatography A Bouhrel J *et al.*

Marker discovery in volatolomics based on systematic alignment of GC-MS signals: Application to food authentication

(2017) Analytica Chimica Acta Abouelkaram S *et al.*

Comparison of Common Components Analysis with Principal Components Analysis and Independent Components Analysis: Application to SPME-GC-MS Volatolomic Signatures

(2018) Talanta Bouhrel J *et al.*

Des outils pour scruter sans fard le volatolome animal et tracer les contaminants des aliments

Les méthodes actuelles utilisées pour garantir la sécurité chimique des aliments d'origine animale ciblent spécifiquement les contaminants ou leurs résidus. Bien que très performantes, ces méthodes sont aussi très coûteuses et ne permettent pas un contrôle systématique à large échelle. La volatolomique, qui consiste en l'analyse des composés « volatils » d'un système biologique, ouvre une piste prometteuse pour détecter à haut-débit et à coût réduit l'exposition des chaînes alimentaires aux contaminants chimiques.

► RESULTATS

Pour améliorer l'exploitation de l'information du volatolome, trois objectifs ont été poursuivis :

1) Limiter les déformations induites au cours du processus d'extraction physique des composés volatils des tissus ou fluides biologiques en proposant une méthode dédiée de microextraction en phase solide.

2) Détecter automatiquement et systématiquement, grâce à un algorithme de traitement du signal conçu pour aligner précisément et automatiquement les signaux volatolomiques, les centaines de composés volatils constitutifs du volatolome. Cette approche permet une caractérisation la plus exhaustive possible en évitant de passer à côté de composés potentiellement marqueurs.

3) Utiliser une méthode chimiométrique permettant d'extraire les composés marqueurs à partir de cette composition détaillée du volatolome. La méthode multi-tableaux retenue permet de minimiser la perte d'information induite dans les méthodes classiques par l'étape de « moyennage » des données volatolomiques rendue nécessaire par la matricisation de signaux analytiques 3D.

► PERSPECTIVES

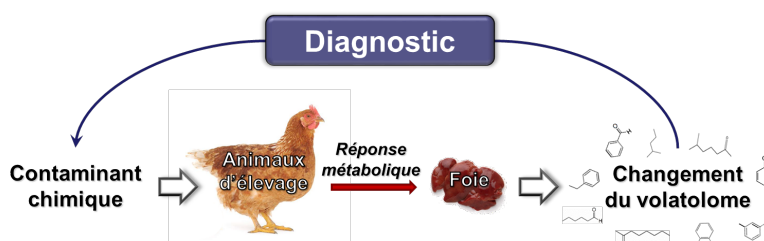
Ces avancées méthodologiques ont permis de confirmer l'intérêt du volatolome pour diagnostiquer une exposition des animaux d'élevage à divers contaminants chimiques (polluants environnementaux, pesticides, traitements vétérinaires). Des travaux sont en cours pour comprendre les mécanismes biochimiques à l'origine des marqueurs révélés et pour tester leur robustesse.

CONTACT

Erwan Engel

erwan.engel@inra.fr

Qualité des Produits
Animaux (QUAPA)





Partenaires

Ce fait marquant a été réalisé dans le cadre du projet CASDAR n°7106, en partenariat avec l'URA et l'ITAVI de Tours, l'UR AFPA/Université de Lorraine de Vandoeuvre-lès-Nancy, et l'Oniris-Laberca de Nantes.

Références biblio.

Liver volatolomics to reveal poultry exposure to γ -hexabromocyclododecane (HBCD)

(2017) Chemosphere

Ratel J, Planche C, Mercier F, Blinet P, Kondjoyan N, Marchand P, Fournier A, Travel A, Jondreville C, Engel E

Sur la piste de marqueurs volatils hépatiques de la contamination animale à un retardateur de flamme bromé émergent, le γ -hexabromocyclododecane (HBCD)

Les aliments d'origine animale, comme les œufs et la viande, peuvent accidentellement être contaminés par de très fortes concentrations de γ -HBCD, retardateur de flamme bromé ajouté dans certains matériaux isolants utilisés notamment dans la construction des bâtiments d'élevage. Le γ -HBCD, susceptible de nuire à la santé des consommateurs, est aujourd'hui dosé dans les aliments grâce à des méthodes analytiques complexes et lourdes à mettre en œuvre.

Nous avons montré que l'examen des composés « volatils » d'un système biologique, ou volatolomique, ouvre une piste prometteuse pour détecter une exposition à certains contaminants. Couplée à de nouvelles technologies de senseurs rapides et peu coûteux, cette approche pourrait permettre une détection de la contamination des animaux d'élevage et de leurs produits dérivés par des contaminants chimiques à risque pour le consommateur.

► RESULTATS

Des situations de contamination ont été obtenues *via* des élevages expérimentaux de poules contaminées ou non par du γ -HBCD à deux doses différentes. En fin d'élevage, l'analyse du foie des animaux a montré (i) que l'HBCD s'était accumulé dans le foie des animaux exposés, (ii) que la composition du volatolome du foie permettait de discriminer les animaux contrôle de ceux exposés aux deux doses d'HBCD. Les composés volatils marqueurs candidats révélés étaient principalement des alcanes linéaires ou ramifiés, des aldéhydes, des cétones, des phénols et des alkyl-benzènes. Leur lien à l'exposition s'expliquerait à la fois par un stress oxydatif et par l'induction d'enzymes de détoxification dont les chaînes de réactions modulent finement les concentrations en composés volatils cellulaires.

► PERSPECTIVES

Couplée à la mise en œuvre de senseurs adaptés, l'utilisation du volatolome du foie des animaux pourrait permettre à terme de renforcer le système existant de surveillance de la sécurité chimique des aliments d'origine animale vis-à-vis du risque représenté par le γ -HBCD.

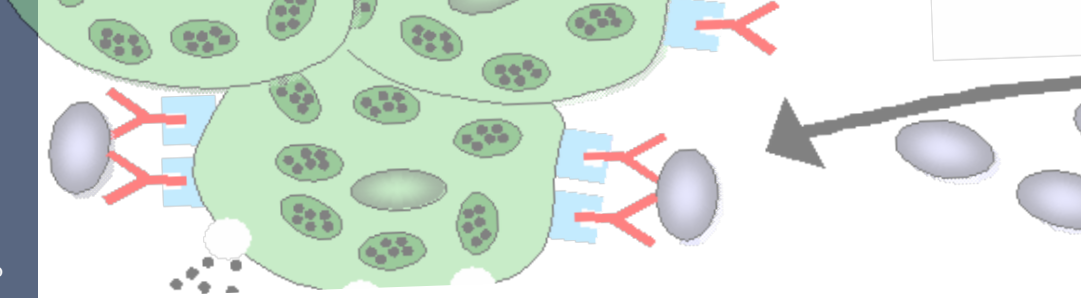
CONTACT

Jérémy Ratel

jeremy.ratel@inra.fr

Qualité des Produits
Animaux (QUAPA)

Dégranulation in vitro



Partenaires

- ♦ Center for Immunology and Inflammatory Diseases, Massachusetts General Hospital and Harvard Medical School, Boston, USA
- ♦ National Institute of Health Sciences, Science food institute, Tokyo, Japan

Références biblio.

Allergy to Deamidated Gluten in Patients Tolerant to Wheat: Specific Epitopes Linked to Deamidation

(2012) Allergy

Denery-Papini S *et al.*

A chimeric IgE that mimics IgE from patients allergic to acid-hydrolyzed wheat proteins is a novel tool for in vitro allergenicity assessment of functionalized gluteins

(2017) Plos One

Tranquet O *et al.*

Valorisation

Le brevet EP2961769 A1 protège l'anticorps INRA-DG1 et sa version chimérique.

Cette IgE chimérique pourra être utilisée comme substitut aux sérums de patients pour l'évaluation de l'allergénicité des glutens fonctionnalisés.

Un anticorps chimérique pour évaluer l'allergénicité des glutens fonctionnalisés

Depuis les années 90, des glutens sont fonctionnalisés par hydrolyse acide pour être utilisés comme ingrédients dans des aliments ou des cosmétiques. Ces glutens modifiés se sont révélés être des néo-allergènes, les protéines désamidées induisant une production spécifique d'anticorps de type IgE qui vont déclencher une réaction allergique. Ainsi, quelques années seulement après la commercialisation de produits contenant du gluten désamidé, les premiers cas d'allergie ont été décrits en Europe et au Japon. Nous avons produit un anticorps chimérique spécifique de ces glutens désamidés qui permet de caractériser leur potentiel allergène.

► RESULTATS

L'analyse de 4 glutens fonctionnalisés industriels impliqués dans des cas d'allergie en Europe et au Japon a révélé que s'ils étaient tous modifiés par désamidation, ils présentaient différents degrés de modification. Un modèle cellulaire *in vitro* mimant le déclenchement de la réaction allergique en présence de sérums de patients a montré que le potentiel allergène de ces glutens désamidés était variable. L'utilisation d'un anticorps de souris (INRA-DG1) dirigé contre les épitopes reconnus par les anticorps de patients a indiqué que les séquences les plus désamidées sont porteuses de l'allergénicité des produits. Un anticorps recombinant de type IgE chimérique (souris/homme) a été produit en intégrant à une IgE humaine le site de liaison de l'anticorps INRA-DG1. Cette IgE chimérique, comme l'anticorps murin, est capable de détecter les glutens désamidés. Elle a de plus une activité biologique similaire à celle des IgE de patients. L'IgE chimérique-DG1 induit en effet une réaction symptomatique *in vitro* et permet ainsi d'évaluer l'allergénicité de glutens fonctionnalisés.

► PERSPECTIVES

Ce travail fait suite au brevet WO2013/054063 qui protège l'anticorps INRA-DG1 et sa version chimérique. L'IgE chimérique pourra être utilisée comme substitut aux sérums de patients pour évaluer l'allergénicité des glutens désamidés.

CONTACTS

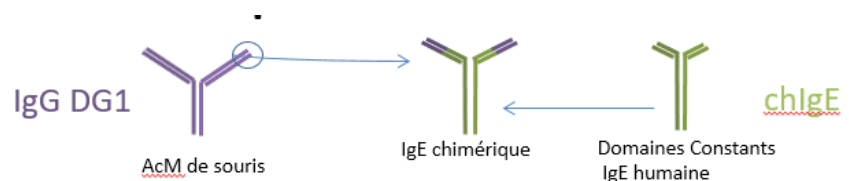
Sandra Denery

sandra.denery@inra.fr

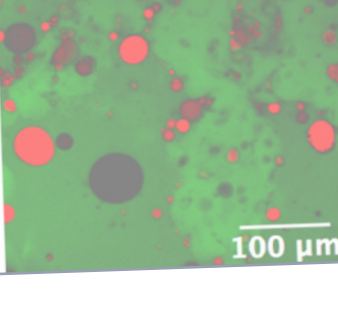
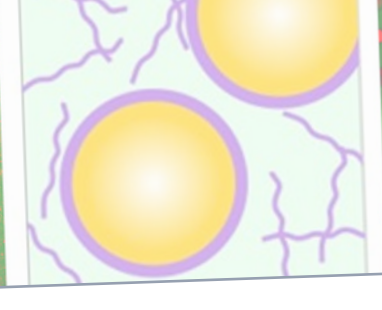
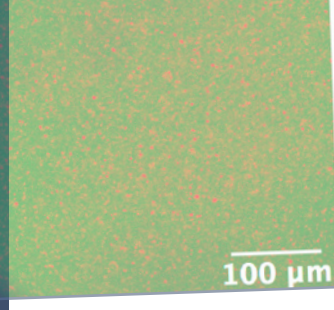
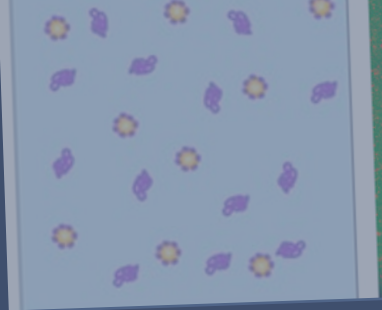
Olivier Tranquet

Olivier.tranquet@inra.fr

Biopolymères, Interactions,
Assemblages (BIA)



IgE Chimérique



Partenaires

Ces résultats sont issus d'un projet collaboratif, financé par l'ANR dans le cadre du projet ALIAS – ALIment- Alimentation-Santé (ANR-11-IDEX-0003-02) de l'université Paris-Saclay.

Quatre laboratoires ont participé à ce projet:

- ♦ UMR GMPA, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, Thiverval-Grignon, France
- ♦ Institut MICALIS, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, Jouy-en-Josas, France
- ♦ UMR PNCA, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, Paris, France
- ♦ UMR GENIAL, AgroParisTech, INRA, Université Paris-Saclay, Massy, France

Références biblio.

In vitro digestion of foods using pH-stat and the INFOGEST protocol: Impact of matrix structure on digestion kinetics of macronutrients, proteins and lipids
(2016) Food Research International Mat DJL *et al.*

Structure of protein emulsion in food impacts intestinal microbiota, caecal luminal content composition and distal intestine characteristics in rats
(2017) Molecular Nutrition & Food Research
Beaumont M *et al.*

CONTACTS

Le Feunteun Steven
steven.le-feunteun@inra.fr
Isabelle Souchon
isabelle.souchon@inra.fr
Génie et Microbiologie
des Procédés Alimentaires
(GMPA)

Effets physiologiques de la structure des aliments: quand les procédés de transformation impactent la digestion des aliments et la composition du microbiote intestinal

Les aliments sont constitués de structures variées qui résultent des matières premières et des procédés de transformation mis en œuvre (cuisson, mélange, gélification, etc.). Les différences de structure des aliments pourraient avoir des conséquences sur la physiologie digestive et la composition du microbiote intestinal.

► RESULTATS

Des aliments modèles de structures parfaitement définies ont été produits en contrôlant l'énergie thermomécanique mise en œuvre pour mélanger les fractions protéique et lipidique. Une méthodologie *in vitro* de suivi en temps réel de l'hydrolyse des protéines et des lipides au cours de la digestion a également été développée.

Nous avons ainsi pu hiérarchiser différents facteurs de structure (taille de gouttelettes d'huile, nature de leur interface, état soluble ou gélifié des protéines) en fonction de leur effet sur les vitesses de digestion. Les résultats obtenus montrent que les interactions qui s'opèrent entre lipides et protéines dépendent de la structure des aliments et évoluent au cours de la digestion, ce qui illustre bien la nécessité de considérer l'aliment au-delà de la simple somme de ses nutriments.

Deux aliments modèles contrastés, un liquide et un solide, ont été sélectionnés pour des expériences de digestion chez le rat. Nous avons observé que les cinétiques de transit et la quantité de transporteurs d'acides aminés et de métabolites issus de la fermentation des protéines retrouvés dans le cæcum variaient selon la structure de l'aliment. La composition et l'activité du microbiote intestinal étaient également affectées, avec une prédominance des espèces impliquées dans la fermentation des protéines dans le cas de l'aliment liquide. Ces données *in vivo* suggèrent que la fraction de protéines non-absorbée par l'intestin grêle, c'est-à-dire la fraction disponible pour le microbiote, était plus importante dans le cas de l'aliment liquide.

L'ensemble de ces résultats démontre que la structure des aliments a des effets marqués sur les vitesses réactionnelles des enzymes digestives et sur les cinétiques de transit, ce qui conduit à des modifications des marqueurs de la physiologie digestive et de la composition du microbiote.

► PERSPECTIVES

Ces résultats permettent d'envisager l'intégration des paramètres de structure des aliments comme composants de leurs qualités nutritionnelles. Ils offrent également des pistes pour une meilleure compréhension des liens entre alimentation et microbiote.

Partenaires

Le projet a été financé par Arla Food Ingredients (AFI), et fait l'objet d'une cotutelle Agrocampus Ouest / Copenhagen University.

Références biblio.

Impurities enhance caking in lactose powder

(2017) Journal of Food Engineering

Carpin M, Bertelsen H, Dalberg A, Roiland C, Risbo J, Schuck P, Jeantet R

How does particle size influence caking in lactose powder?

(2017) Journal of Food Engineering

Carpin M, Bertelsen H, Dalberg A, Roiland C, Risbo J, Schuck P, Jeantet R

Comment empêcher le mottage des poudres de lactose?

Le lactose, premier constituant en masse du lait maternel, est également l'ingrédient principal des poudres de laits infantiles. L'utilisation de poudre de lactose pour la fabrication de laits infantiles peut cependant être entravée par le phénomène de mottage qui correspond à la présence d'agglomérats au sein de la masse de poudre. Cette étude montre que la présence d'impuretés et de particules fines accroît la tendance au mottage, et met ainsi en lumière l'importance capitale du contrôle du degré de lavage et de la taille des cristaux.

► RESULTATS

Des poudres contenant des impuretés résiduelles, c'est à dire des constituants non lactose (minéraux, protéines, etc.), et présentant des tailles de particules variables ont été produites à l'échelle pilote, puis soumises à différentes conditions de température et de pression de façon à favoriser le mottage. Nous avons ainsi identifié plusieurs leviers de contrôle du mottage:



poudres de lactose

- ◆ la teneur en impuretés résiduelles après l'étape de lavage doit être inférieure à 1% car les impuretés absorbent plus l'humidité ambiante que le lactose et facilitent ainsi le mottage par humidité.

- ◆ les tests de mottage sur différentes fractions tamisées montrent un lien entre mottage et taille des cristaux : les particules les plus fines avec un diamètre moyen inférieur à 80µm contiennent davantage d'impuretés et présentent un ratio surface sur volume plus important, augmentant la

potentialité de points de contacts entre particules. Une bonne maîtrise de l'étape de cristallisation et des étapes de transport pneumatique de la poudre, qui affectent la distribution de taille cristalline respectivement par croissance et attrition, est primordiale.

- ◆ le contrôle de l'humidité relative de l'air lors du transport pneumatique des poudres permet de maintenir leur activité d'eau à un niveau suffisamment bas tout au long de la chaîne logistique jusqu'au client.

► PERSPECTIVES

Ces travaux offrent aux industriels la perspective de pouvoir réduire la tendance au mottage des poudres de lactose en contrôlant la taille des cristaux et la teneur en impuretés par des paramètres de procédé adaptés. Ils posent également les bases d'un test de mottage prédictif qui permettra d'orienter les lots fabriqués vers des marchés compatibles avec leur sensibilité plus ou moins marquée au mottage.

CONTACTS

Pierre Schuck
pierre.schuck@inra.fr
Romain Jeantet
romain.jeantet@agrocampus-ouest.fr
Science et Technologie du
Lait et de l'Œuf (STLO)



Partenaires

Cette étude est financée par le Centre National Interprofessionnel et d'Economie Laitière dans le cadre du projet Code Poudre (2013-2017 ; 2 thèses et 1 post doc).

Références biblio.

Heat-induced aggregation properties of whey proteins as affected by storage conditions of whey protein isolate powders

(2016) Food and Bioprocess Technology

Norwood EA, Chevallier M, Le Floch-Fouéré C, Schuck P, Jeantet R, Croguennec T

Investigation of secondary structure evolution of micellar casein powder upon ageing by FTIR and SRCD: Consequences on solubility

(2017) Journal of the Science of Food and Agriculture

Nasser S, Hédoux A, Giuliani A, Le Floch-Fouéré C, Santé-Lhoutellier V, de Waele I, Delaplace G

Brunissement des poudres de WPI, WPI à teneur réduite en lactose et PPCN pour différentes conditions de stockage [Température / Durée en mois].

CONTACTS

Romain Jeantet

romain.jeantet@agrocampus-ouest.fr

Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO)

Guillaume Delaplace

Guillaume.Delaplace@inra.fr
Unité Matériaux Et Transformations (UMET)

Comment une poudre protéique laitière vieillit-elle ?

Les poudres de protéines laitières, ingrédients alimentaires nutritionnels et fonctionnels à haute valeur ajoutée, sont réputées conserver un usage optimal jusqu'à 18 mois. Leurs propriétés fonctionnelles (réhydratation, stabilité thermique, etc.) peuvent cependant être altérées en fonction des conditions de stockage (température et activité d'eau, a_w).

► RESULTATS

Les évolutions structurales et fonctionnelles après réhydratation de poudres d'isolats de protéines solubles et de caséines micellaires ont été suivies expérimentalement jusqu'à 15 mois de stockage en conditions contrôlées (20°C, 40°C et 60°C ; a_w d'origine). Un brunissement a pu être observé pour les deux isolats lors du stockage, malgré leur faible teneur en lactose résiduel (1% p/p).

Au niveau moléculaire, l'évolution structurale des poudres d'isolats de protéines solubles implique d'abord des interactions lactose-protéine (lactosylation) accroissant la réactivité des protéines, puis l'agrégation d'une partie de ces dernières. L'évolution des poudres de caséines micellaires est caractérisée par des modifications de structures secondaires, notamment la perte d'hélices α .

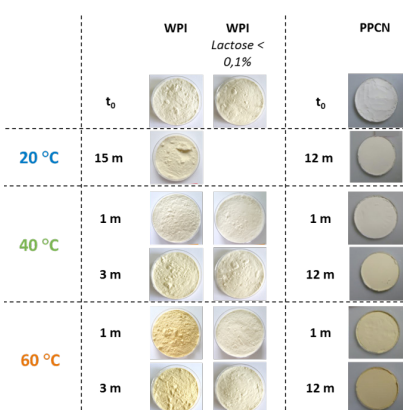
Ces trajectoires de vieillissement spécifiques sont positivement corrélées avec la température et la durée de stockage et des correspondances temps / température ont pu être établies pour des modifications structurales homologues. L'impact de ces évolutions sur les propriétés fonctionnelles est néanmoins contrasté:

◆ Seules les propriétés d'agrégation thermo-induites des poudres d'isolats de protéines solubles sont modifiées par les espèces moléculaires formées par la réaction de Maillard.

◆ L'agrégation des caséines localisées en surface des particules de poudre de caséines micellaires lors du stockage induit quant à elle une augmentation considérable du temps de réhydratation. L'abaissement de la teneur en lactose résiduel (< 0,1% p/p) permet de limiter le brunissement au stockage sans empêcher pour autant l'agrégation protéique et la formation d'insoluble.

► PERSPECTIVES

Cette étude offre une base étayée pour la définition de protocoles de vieillissement accéléré permettant d'anticiper et de prédire les modifications structurales affectant les fonctionnalités lors du stockage des poudres d'isolats de protéines laitières.





Partenaires

Projet Interrégional PROFIL (coordination scientifique, J. Léonil, UMR STLO): Projet interrégional (Bretagne, N°13008651 ; Pays de la Loire, N°2014-07081), INRA, Oniris, Industriels BBA.

Références biblio.

Aggregated whey proteins and trace of caseins synergistically improve the heat stability of whey protein-rich emulsions

(2016) Food hydrocolloids
Chevallier M, Riaublanc A, Lopez C, Hamon P, Rousseau F, Croguennec T

Increasing the heat-stability of whey protein-rich emulsions by combining the functional role of WPM and caseins

(2017) Food hydrocolloids
Chevallier M, Riaublanc A, Lopez C, Hamon P, Rousseau F, Thevenot J, Croguennec T

CONTACTS

Thomas Croguennec
Thomas.croguennec@
agrocampus-ouest.fr

Christelle Lopez
Christelle.lopez@inra.fr

Science et Technologie du Lait
et de l'Œuf (STLO)

Alain Riaublanc
Alain.riablanc@inra.fr

Biopolymères, Interactions,
Assemblages (BIA)

Améliorer la stabilité thermique des émulsions riches en protéines de lactosérum sans utiliser d'additifs alimentaires

Le retrait des additifs alimentaires dans les produits laitiers constitue une attente forte de la part des consommateurs. Créer des émulsions laitières riches en protéines de lactosérum qui soient stables aux traitements thermiques sans utiliser d'additifs est cependant un réel défi pour les industriels. Nous avons montré qu'il est possible de concevoir des émulsions 100% lait qui résistent à un traitement de stérilisation et ce sur une large gamme de concentration protéique.

► RESULTATS

Les solutions d'agrégats de protéines de lactosérum sont stables aux traitements thermiques mais la présence de ces agrégats à la surface des gouttelettes de matière grasse déstabilise les émulsions (gélification/séparation de phase). A l'inverse, les émulsions dont la surface des gouttelettes lipidiques est recouverte de caséines sont très stables aux traitements thermiques. Nous avons pu contrôler la stabilité des émulsions riches en protéines de lactosérum pendant les traitements technologiques en combinant le rôle fonctionnel des agrégats de protéines de lactosérum et des caséines. Des émulsions ont ainsi été préparées avec des agrégats de protéines de lactosérum et avec différents ratios agrégats/caséines en fonction de l'aire interfaciale à couvrir ; leur structure à différentes échelles (interface, gouttelettes de matière grasse, émulsion) et leur stabilité thermique ont ensuite été analysées. Les résultats obtenus montrent que la stabilité thermique des émulsions peut être modulée en contrôlant la répartition des agrégats de protéines de lactosérum et des caséines entre la surface des globules gras et la phase continue de l'émulsion. Les émulsions restent stables sans additif lors des traitements thermiques lorsque la surface des gouttelettes de matière grasse est recouverte par des caséines et que des protéines de lactosérum structurées sous forme d'agrégats sont présentes dans la phase continue.

► PERSPECTIVES

Ce travail explique en partie le mécanisme de déstabilisation des émulsions alimentaires pendant leur fabrication ou leur usage et ouvre des pistes pour un meilleur contrôle de leur stabilité en proposant une alternative à l'utilisation d'additifs alimentaires non laitiers.

Comparaison des agrégats fractals produits à l'échelle pilote avec un échangeur thermique ou en tube à l'échelle du laboratoire

Partenaires

Ces résultats ont été obtenus dans le cadre d'une thèse financée par la région Pays de la Loire

Projet PROFIL en collaboration avec l'UMR STLO et les industriels laitiers regroupés au sein de l'association Bba

Références biblio.

Characterization of heat-induced changes in skim milk using asymmetrical flow field-flow fractionation coupled with multiangle laser light scattering

(2010) Journal of Agricultural and Food Chemistry

Guyomarc'h F, Violleau F, Surel O, Famelart M-H

Determination of hydro-colloidal characteristics of milk protein aggregates using Asymmetrical Flow Field-Flow Fractionation coupled with Multiangle Laser Light Scattering and Differential Refractometer

(2018) Food Hydrocolloids

Loiseleux T, Rolland-Sabate A, Garnie C, Croguennec T, Guilois S, Anton M, Riaublanc A

CONTACT

Alain Riaublanc
alain.riablanc@inra.fr
Biopolymères, Interactions,
Assemblages (BIA)

Le fractionnement Flux-Force couplé à la diffusion statique de la lumière, une technique de choix pour caractériser les mélanges d'assemblages de protéines laitières

Au cours des traitements thermiques, les protéines solubles du lait se dénaturent et s'agrègent entre elles ou sur les micelles de caséines pour former des assemblages. Ces assemblages supramoléculaires possèdent des propriétés fonctionnelles intéressantes pour remplacer certains additifs alimentaires mais ces propriétés sont sensibles à leurs structures et à la présence de protéines solubles. Nous avons donc développé une méthode innovante pour caractériser les protéines agrégées en mélange.

► RESULTATS

A partir d'un système de séparation flux-force couplé à des détecteurs par diffusion de lumière multi angles et d'indice de réfraction (A4F-MALLS-DRI), nous avons développé des méthodes adaptées pour séparer différentes populations au sein de solutions chauffées de protéines laitières.

En chauffant à 80°C une solution de protéines de lactosérum à 50 g/L à pH7 en présence de 45 mM de NaCl, nous avons obtenu des assemblages fractals alors qu'en chauffant à 85°C une solution à 40 g/L à pH5.8, nous avons produit des assemblages sphériques denses. En présence de micelles de caséines, un chauffage à 80°C à pH 6,3 conduit à la formation d'assemblages mixtes constitués d'un cœur de caséine recouvert d'agrégats fractals de protéines solubles.

Grace à cette nouvelle technique, nous avons montré que :

- ◆ les assemblages fractals formés ne sont pas homogènes. Au sein des mélanges, les protéines non agrégées, les petits agrégats compacts et les gros agrégats branchés formés par assemblage des petits peuvent être séparés.
- ◆ les agrégats sphériques s'assemblent pour former des structures de grande taille moins denses.
- ◆ les protéines de lactosérum s'agrègent préférentiellement sur les grosses micelles pour former des agrégats mixtes.

► PERSPECTIVES

Dans un mélange complexe, cette technique permet de séparer des agrégats protéiques sur une gamme de taille très étendue (5nm-1µm), d'accéder à la taille et à la masse molaire apparente des structures et de quantifier chaque population. Développée pour des protéines laitières, cette technique devrait pouvoir être étendue aux protéines végétales, qui sont souvent agrégées, et permettre de mieux comprendre leurs propriétés fonctionnelles.

Partenaires

♦ **Projet Interrégional PROFIL** (coordination scientifique, J. Léonil, UMR STLO): **Projet interrégional** (Bretagne, N°13008651 ; Pays de la Loire, N°2014-07081), INRA, Oniris, Industriels BBA.

♦ **Faculté de Pharmacie, Centre de Recherche CHU du Québec, Université Laval, Québec, Canada.**

Références biblio.

Coacervates of whey proteins to protect and improve the oral delivery of bioactive molecule

(2017) *Journal of Functional Foods*

Chapeau A-L, Bertrand N, Briard-Bion V, Hamon P, Poncelet D, Bouhallab S

Scale-up production of vitamin loaded heteroprotein coacervates and their protective property

(2017) *Journal of Food Engineering*

Chapeau A-L, Hamon P, Rousseau F, Croguennec T, Poncelet D, Bouhallab S

CONTACT

Saïd Bouhallab

said.bouhallab@inra.fr

Science et Technologie du Lait et de l'Œuf (STLO)

Encapsulation de molécules bioactives dans des coacervats de protéines: protection et libération contrôlée

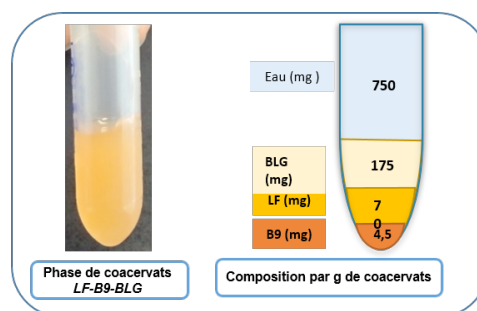
Augmenter la valeur ajoutée des protéines en explorant leur plasticité et la multifonctionnalité de leurs assemblages est un défi majeur. Lors de travaux précédents, nous avons mis en évidence la capacité des protéines laitières à s'assembler en microsphères appelées coacervats hétéroprotéiques. Ici, nous démontrons que les microsphères issues de la coacervation de deux protéines, la lactoferrine (LF) et la β -lactoglobuline (BLG), sont efficaces pour l'encapsulation, la protection et la libération contrôlée de petites molécules bioactives telles que la vitamine B9.

► RESULTATS

En testant une gamme de concentrations et de rapports molaires des composants à différents pH, nous avons établi les conditions optimales de coacervation. Un rendement de coacervation de 55 % permettant l'encapsulation de 98 % de la vitamine B9 a été atteint, ce qui correspond à la production d'une phase de coacervats LF-B9-BLG contenant 4 à 5 mg de vitamine B9 par gramme de coacervat. Ce rendement est conservé lors d'un changement d'échelle du μ l au litre. De plus, les coacervats de protéines protègent la forme native de la vitamine vis-à-vis de l'oxydation, des UV et pendant la lyophilisation.

Nous avons comparé la biodisponibilité de la vitamine B9 administrée sous différentes formes à des rats par voie orale. Les coacervats de protéines améliorent significativement la biodisponibilité de la vitamine, avec des concentrations plasmatiques supérieures à celles obtenues avec l'administration de la vitamine seule ou simplement associée à l'une des deux protéines.

Les coacervats encapsulent ainsi efficacement la vitamine B9 qui est plus stable car protégée de la dégradation lors des procédés de transformation et de stockage. La vitamine B9 encapsulée est également mieux absorbée *in vivo*.



Encapsulation de la Vitamine B9 par coacervation complexe de deux protéines de lactosérum. La phase de coacervats est riche en protéines, en vitamine ainsi qu'en fer apporté naturellement par la lactoferrine (LF).

► PERSPECTIVES

Nous avons clairement montré que les coacervats de protéines sont un vecteur efficace pour l'encapsulation et la vectorisation de la vitamine B9. Le produit obtenu est multifonctionnel, riche en protéines bioactives (e.g. LF et ses biopeptides), en fer et en vitamine B9. Ceci ouvre un nouveau champ d'application des assemblages de ces protéines en tant qu'ingrédient ou additif alimentaire pour une alimentation ciblée.



Valorisation

Demande de brevet déposée en France le 28 décembre 2015 sous le n° FR 15 053762 et au niveau mondial sous le n°WO2016108024. Inventeurs : Garric G, Leonil J, Jeantet R, Lortal S, Schuck P, Gaucheron F

Ce procédé est proposé à différentes structures de transformation, nationales ou internationales :

- ♦ de petites structures de type Organisation de Producteurs (OP) ou GIE de collecte qui souhaitent mettre en commun leur lait, notamment dans les périodes d'excédents, et réaliser sur un outil facile d'utilisation des produits fromagers simples et différenciés
- ♦ des entreprises maîtrisant les technologies membranaires et souhaitant optimiser le découplage entre la production de la texture de la production d'arôme
- ♦ de grandes entreprises développant le grand export avec des matrices de textures et aromatiques différenciées, soit préparées en France, soit dans le pays de destination

CONTACTS

Gilles Garric
gilles.garric@inra.fr
Romain Jeantet
romain.jeantet@
agrocampus-ouest.fr

Science et Technologie du
Lait et de l'Œuf (STLO)

Concept de rupture en technologie fromagère : comment obtenir une pâte fromagère aromatisée en moins de 4 jours

Un procédé breveté permet d'obtenir des pâtes fromagères à moindre coût de production et en un temps inférieur à quatre jours contre plusieurs semaines en fromagerie traditionnelle. Ce procédé consiste à découpler l'élaboration de la texture et de l'arôme fromagers en repensant l'ordre et la nature des étapes de transformation. Les pâtes fromagères obtenues ont des textures allant de la pâte à tartiner à la pâte dure et peuvent être aromatisées naturellement à la demande selon les besoins du marché.

► RESULTATS

Les étapes d'égouttage et d'acidification sont découplées en fractionnant une base lait par centrifugation et séparation membranaire puis en reconstruisant une matrice de texture contrôlée en termes de ratio protéine/gras, d'état de la matière grasse, de taux de dénaturation des protéines solubles, de minéralisation et de quantité de lactose disponible. Une matrice aromatique est produite en parallèle en moins de quatre jours selon un triptyque optimisé : type de microorganismes (*Hafnia alvei*, *Yarrowia lipolytica*, *Propionibacterium freudenreichii* ou mélange de lactocoques par exemple), conditions environnementales et milieu support. Enfin, la matrice de texture et la matrice aromatique sont assemblées selon un ratio 90/10 (p/p). L'ensemble est texturé en jouant principalement sur le pH, la température et les quantités de NaCl et de coagulant ajoutées.

En substituant l'égouttage par une séparation membranaire, en pratiquant un salage direct et en réduisant l'affinage à une étape de courte durée en fermenteur, ce concept éco-efficace permet de contrôler chacune des étapes indépendamment, de diminuer significativement les intrants (fluides, équipements) et de standardiser les co-produits. C'est un procédé souple qui permet d'obtenir avec le même matériel tout type de pâtes et d'arômes à J + 1. Enfin il permet d'obtenir un produit nutritionnellement équilibré par introduction de levains probiotiques ou de prébiotiques dans la matrice finale.

► PERSPECTIVES

La prochaine étape consistera à optimiser les conditions de procédé pour atteindre des propriétés fonctionnelles ciblées des pâtes, depuis leur tranchage jusqu'à leur pouvoir filant et fondant. La maîtrise de ces propriétés est en effet essentielle dans la perspective d'élaboration d'ingrédients fromagers.

PARTENAIRES

Institut National de la Recherche Agronomique
Agrocampus Ouest

Références biblio.

Towards the use of biochemical indicators in the raw fruit for improved texture of pasteurized apricots

(2017) Food and Bioprocess Technology

Ribas-Agusti A, Gouble B, Bureau S, Maingonnat JM, Audergon JM, Renard CMGC

Apricot texture: variability as a function of cultivar, influence of maturity and impact of cooking

(2017) LWT-Food Science and Technology

Ayour J, Gouble B, Reling P, Ribas-Agusti A, Audergon JF, Maingonnat JF, Benichou M, Renard CMGC

Impact of canning and storage on apricot carotenoids and polyphenols

(2018) Food Chemistry

Le Bourvellec C, Gouble B, Bureau S, Reling P, Bott P, Ribas-Agusti A, Audergon JM, Renard CMGC

CONTACTS

Carine Le Bourvellec
carine.le-bourvellec@inra.fr

Barbara Gouble
barbara.gouble@inra.fr
Sécurité et Qualité des
Produits d'Origine Végétale
(SQPOV)

Abricot en conserve : de l'importance du choix de la variété sur sa qualité

La période de production de l'abricot est courte et le fruit se conserve peu, aussi, les volumes non consommés en frais sont absorbés par la transformation (fruits en conserve, compotes, confitures ou jus de fruit). Nous avons étudié l'impact de la cuisson et du stockage des oreillons au sirop sur les concentrations en polyphénols et en caroténoïdes et sur le maintien de leur texture en fonction des variétés.

► RESULTATS

Lors d'un traitement thermique, polyphénols et caroténoïdes sont relativement préservés, mais à des étapes différentes. Les pertes en polyphénols lors de la transformation en oreillons au sirop (en moyenne 34%) sont dues à leur dégradation thermique ainsi qu'à la diffusion dans le sirop de certaines classes comme les flavan-3-ols monomères, les acides hydroxycinnamiques, les flavonols et les anthocyanes. Les flavan-3-ols polymères ou procyanidines, composés majoritaires de l'abricot, restent quant à eux dans les oreillons d'abricots (en moyenne plus de 70%). Après 2 mois de stockage, les teneurs en polyphénols sont relativement stables. Pour les caroténoïdes en revanche, la cuisson induisant une meilleure efficacité d'extraction, une augmentation apparente des concentrations (+10% en moyenne) est observée, notamment pour le cis- β -carotène. Ils sont par contre dégradés au cours du stockage (-16% en moyenne), et cette perte serait dépendante de leur état physique, le trans- β -carotène (forme cristalline) restant stable.

Concernant la texture des oreillons, la fermeté initiale des fruits n'est pas le garant d'une plus grande fermeté après cuisson. Pour une même fermeté initiale les textures obtenues après cuisson présentent en effet de grandes différences puisqu'elles peuvent varier d'un facteur 4 entre OrangeRed, la variété la mieux adaptée et Goldrich, la variété la plus affectée. Des corrélations négatives ont été mises en évidence entre la force maximale de cisaillement des oreillons cuits et l'acidité titrable, la production d'éthylène ou l'activité de la β -galactosidase des abricots frais. L'impact négatif de l'acidité du fruit pourrait être due à une hydrolyse des pectines quand le pH est bas (< 3,5).

► PERSPECTIVES

La validation de l'acidité du fruit frais comme marqueur d'une non-adaptation à la cuisson est en cours de validation sur un plus grand nombre de variétés.



Partenaires

- ◆ UMR408 SQPOV “Sécurité et Qualité des Produits d’Origine Végétale”, INRA, Université d’Avignon, Avignon, France.
- ◆ UR370 Qualité des Produits Animaux, INRA, St Genès-Champanelle, France
- ◆ Unité de Nutrition Humaine, Université Clermont Auvergne, INRA, Clermont-Ferrand, France

Références biblio.

The matrix of fruit & vegetables modulates the gastrointestinal bioaccessibility of polyphenols and their impact on dietary protein digestibility

(2018) Food Chemistry

Dufour C, Loonis M, Delosière M, Buffière C, Hafnaoui N, Santé-Lhoutellier V, Rémond D

Fruits, vegetables and their polyphenols protect dietary lipids from oxidation during gastric digestion

(2014) Food & Function

Gobert M, Rémond D, Loonis M, Buffière C, Santé-Lhoutellier V, Dufour C

La matrice végétale module non seulement la bioaccessibilité gastrique des polyphénols mais aussi la digestibilité des protéines

Les polyphénols des fruits et légumes sont les micronutriments les plus abondants de l'alimentation. Dans le tractus digestif, ils peuvent exercer un rôle bénéfique pour la santé en limitant la formation de composés issus de l'oxydation lipidique impliqués ultimement dans le développement de l'athérosclérose et du cancer du côlon. Pour pouvoir être actifs, les polyphénols doivent être bioaccessibles, c'est-à-dire avoir diffusé hors de la matrice végétale pour se solubiliser dans le digestat. Nous nous sommes donc intéressés à la bioaccessibilité gastrique des composés phénoliques issus de fruits/légumes dans le cadre d'un régime occidental.

► RESULTATS

Nous avons évalué (i) la bioaccessibilité des polyphénols et (ii) la digestion des protéines chez des miniporcs ayant ingéré un repas complet à base de viande de bœuf et d'huile de tournesol additionné soit de fruits ou légumes détaillés en dés (pomme, prune, artichaut), soit de l'extrait phénolique correspondant. La bioaccessibilité gastrique initiale des polyphénols est très faible, de 1.5% et 3.1% pour les repas "fruits/légumes" et "extrait", respectivement. De manière remarquable, les flavanols oligomériques, une des classes de polyphénols, sont absents des digestats gastriques bien que retrouvés ensuite au niveau de l'iléon. Ces résultats pointent vers une complexation des composés phénoliques par les fibres et les protéines lors de la digestion gastrique. Nous avons également montré que la digestion des protéines est moins efficace en présence de l'extrait qu'en présence des fruits/légumes correspondants. Une diminution de la digestibilité iléale apparente et une concentration plasmatique en acides aminés inférieure sur les 6 h de digestion sont ainsi observées.

L'ensemble de ces résultats suggère que l'équilibre entre bénéfice et risque doit être évalué lors de la consommation de compléments nutritionnels, en particulier chez la personne dénutrie.

► PERSPECTIVES

De nouvelles recherches sont conduites en ciblant une famille de polyphénols, les flavanols oligomériques, qui semblent développer de fortes interactions avec les protéines et les fibres alimentaires. De même, l'impact des procédés de transformation (pomme crue, purée, extrait phénolique) sera évalué sur la bioaccessibilité des flavanols, leur métabolisation par la microflore dès l'iléon et la digestion des protéines dans un repas complet.

CONTACT

Claire Dufour

Claire.dufour@inra.fr

Sécurité et Qualité des
Produits d'Origine Végétale
(SQPOV)



Partenaires

Ce travail a été réalisé au cours de la thèse de Nadia Yacoubi (2014-2016), accueillie en co-tutelle au sein de l'équipe Paroi Végétale et Polysaccharides Pariétaux de l'Unité BIA et dans le Département Pathology, Bacteriology and Poultry Diseases de la Faculté de Médecine Vétérinaire de Gand (Belgique).

Cette thèse a bénéficié d'un financement CIFRE entre l'ANRT et l'entreprise ADISSEO.

Références biblio.

Water-soluble fractions obtained by enzymatic treatment of wheat grains promote short chain fatty acids production by broiler cecal microbiota

(2016) Animal Feed Science and Technology

Yacoubi N, Van Immerseel F, Ducatelle R, Rhyat L, Bonnin E, Saulnier L

Short-chain arabinoxylans prepared from enzymatically treated wheat grain exert prebiotic effects during the broiler starter period

(2017) Poultry Science

Yacoubi N., Saulnier L., Bonnin E, Devillard E, Eeckhaut V, Rhyat L, Ducatelle R, Van Immerseel F

Des enzymes de dégradation des polysaccharides pariétaux pour restaurer la santé digestive du poulet

Les problèmes de santé digestive en production avicole entraînent des pertes économiques importantes, en particulier depuis l'interdiction de l'utilisation des antibiotiques comme facteurs de croissance par l'Union Européenne en 2006. L'utilisation d'enzymes de dégradation des polysaccharides pariétaux (MEP) est apparue comme une alternative, notamment dans les régimes à base de céréales. Leur action est multifactorielle mais le plus souvent expliquée par l'apparition dans le tractus digestif d'oligosaccharides présentant des propriétés prébiotiques.

► RESULTATS

Pour mieux comprendre leur mode d'action, nous avons isolé des fractions de polymères hydrosolubles à partir de grain de blé, avec ou sans MEP. La présence de MEP augmente la quantité d'arabinoxylanes à chaîne courte (SC-AX) sans produire d'oligosaccharides.

Ces fractions ont ensuite été incorporées dans un régime à base de blé pour alimenter des poulets de chair pendant 2 semaines après éclosion. Leurs effets sur les performances des animaux, leur santé intestinale, la production des acides gras à chaîne courte et la diversité du microbiote intestinal ont été étudiés. Les résultats montrent que la présence de SC-AX dans l'aliment augmente significativement le gain de poids des poussins et favorise la croissance des bactéries productrices de butyrate (*Lachnospiraceae* et *Ruminococcaceae*). Une diminution de l'inflammation de l'intestin est également observée, en lien avec l'augmentation du butyrate, connu pour avoir des effets anti-inflammatoires et stimuler les entérocytes L productrices d'hormones bénéfiques pour la santé digestive des animaux. Nous démontrons ici que l'hydrolyse des polysaccharides n'a pas besoin d'être aussi poussée que généralement admis pour produire des molécules actives et bénéfiques. En effet, avec un degré de polymérisation autour de 50, les SC-AX obtenus augmentent la production de butyrate, diminuent l'infiltration des cellules T dans les muqueuses caecales et iléales et augmentent la densité de cellules L dans l'épithélium de l'iléon, phénomènes témoins de l'amélioration de la santé digestive.

► PERSPECTIVES

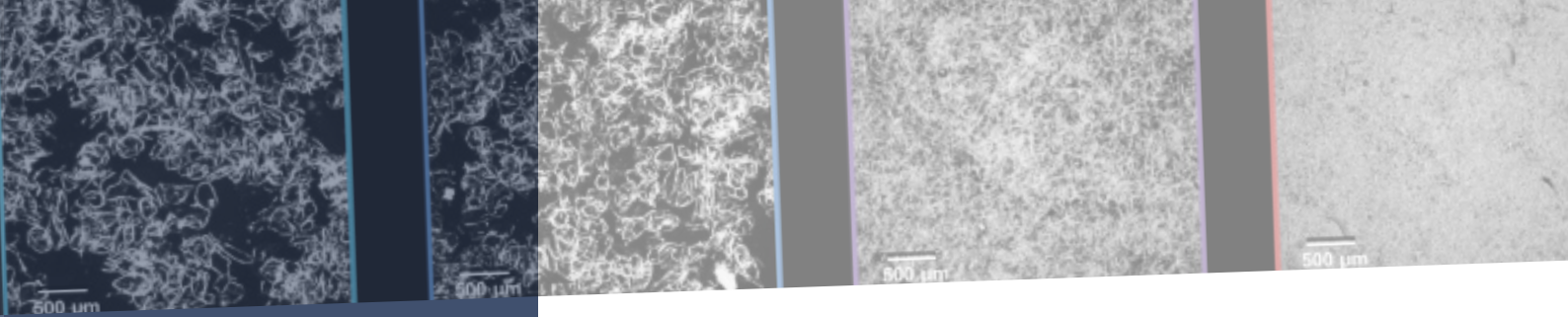
Ces résultats suggèrent que l'action bénéfique de la MEP sur les performances animales est liée à la dépolymérisation partielle des polysaccharides pariétaux du grain de blé. Une telle étude devra maintenant être étendue à d'autres matières premières pour vérifier si d'autres polysaccharides pariétaux produisent le même effet après une dégradation limitée.

CONTACTS

Luc Saulnier
luc.saulnier@inra.fr

Estelle Bonnin
estelle.bonnin@inra.fr

Biopolymères, Interactions,
Assemblages (BIA)



Partenaires

Ce travail a été réalisé dans le cadre du projet Européen OPTIFEL.

Références biblio.

Design of Model Apple Cells Suspensions: Rheological Properties and Impact of the Continuous Phase

(2017) Food Biophysics

Leverrier C, Almeida G, Menut P, Cuvelier G

Influence of particle size and concentration on rheological behaviour of reconstructed apple purees

(2016) Food Biophysics

Leverrier C, Almeida G, Espinoza-Munoz L, Cuvelier G

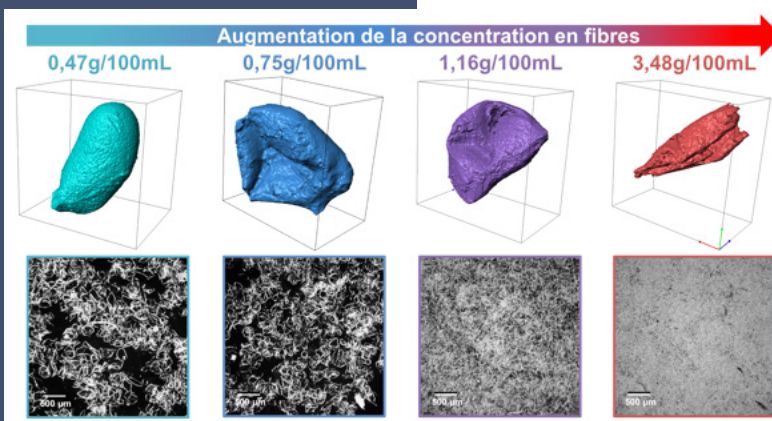
Les dessous de la purée de pommes ou comment les cellules se tassent-elles ?

La texture des fruits et légumes est un critère majeur de qualité pour le consommateur. Des travaux antérieurs ont permis de montrer que la texture des fruits et légumes transformés est essentiellement gouvernée par les fibres insolubles présentes dans ces produits. Dans la littérature, les purées de fruits ou de légumes sont décrites comme des suspensions de particules (cellules ou assemblage de cellules) molles et compressibles. Si ces hypothèses peuvent être formulées à partir de leur comportement (notamment rhéologique), l'organisation des particules n'a cependant jamais été observée directement.

► RESULTATS

Nous avons mis au point une méthode pour extraire des particules insolubles de purées de pommes et les marquer sélectivement. Le principe consiste à n'utiliser que 10% de fibres marquées (le reste des particules étant extrait avec cette même méthode mais sans étape de marquage) pour accéder à l'observation directe des particules marquées

sans être gêné par l'environnement très encombré du milieu qui ne permet pas de distinguer les cellules individuellement. À partir de ces particules, correspondant ici à des cellules individuelles, nous avons reconstruit des purées de pommes de concentrations en fibres insolubles différentes : 0,47 g/100mL et 0,725g/100mL correspondent à des purées ayant été diluées, 1,16g/100mL correspond à la teneur en fibres d'une purée classique et 3,48g/100mL correspond à une purée enrichie en fibres



Observation en microscopie optique de 4 purées de pommes de concentrations en fibres variables, et cellules de pommes observées en microscopie confocale correspondante

insolubles.

Nous avons ensuite observé directement les particules au sein de l'échantillon par microscopie confocale. La reconstruction des images en 3D via le logiciel Simpleware nous a permis de quantifier la morphologie des cellules et ainsi de constater une diminution significative du volume des cellules dans le domaine concentré (au-delà de 1,16 g/100mL de fibres dans la purée) qui se présentent aplaties en milieu très encombré.

► PERSPECTIVES

Grâce à cette étude, nous mettons pour la première fois en évidence, de manière directe, la capacité des cellules végétales à se tasser lorsque la concentration en particules devient trop importante. Cette modification du volume occupé par les cellules végétales dans l'échantillon, entraîne une modification de l'évolution de son comportement rhéologique et impacte donc sa texture. Cette approche est généralisable à la caractérisation d'autres systèmes particuliers encombrés.

CONTACTS

Gérard Cuvelier

gerard.cuvelier@agroparistech.fr

Giana Almeida

giana.almeida@agroparistech.fr

Cassandra Leverrier

cassandra.leverrier@

agroparistech.fr

Ingénierie, Procédés,
Aliments (GENIAL)