



# RAPPORT D'ACTIVITÉS 2017







Réseau de recherche pour l'innovation alimentaire

## 2017 | RAPPORT D'ACTIVITÉS

**3** | Édito de Catherine Renard  
Directrice de l'institut Carnot Qualiment®

**5** | L'institut Carnot Qualiment®,  
la recherche pour les entreprises

**6** | Qualiment®  
Institut Carnot dédié à l'agroalimentaire

**11** | Qualiment® à la rencontre des entreprises

**13** | 2017, les chiffres marquants

**15** | Des projets pour le partenariat et le transfert

**17** | Success stories







# Édito de Catherine Renard

## Directrice de l'institut Carnot Qualiment®

Pour les 14 entités de recherche du réseau Qualiment®, l'année 2017 a été riche en résultats porteurs de solutions innovantes pour une alimentation saine et durable. Par l'élaboration d'aliments mieux produits, mieux conçus, mieux adaptés et mieux perçus, les équipes du Carnot Qualiment® peuvent répondre aux problématiques actuelles des industries agro-alimentaires, des start-ups aux grands groupes, qu'elles répondent aux demandes des pouvoirs publics, aux souhaits des consommateurs ou aux préoccupations d'efficacité des procédés.

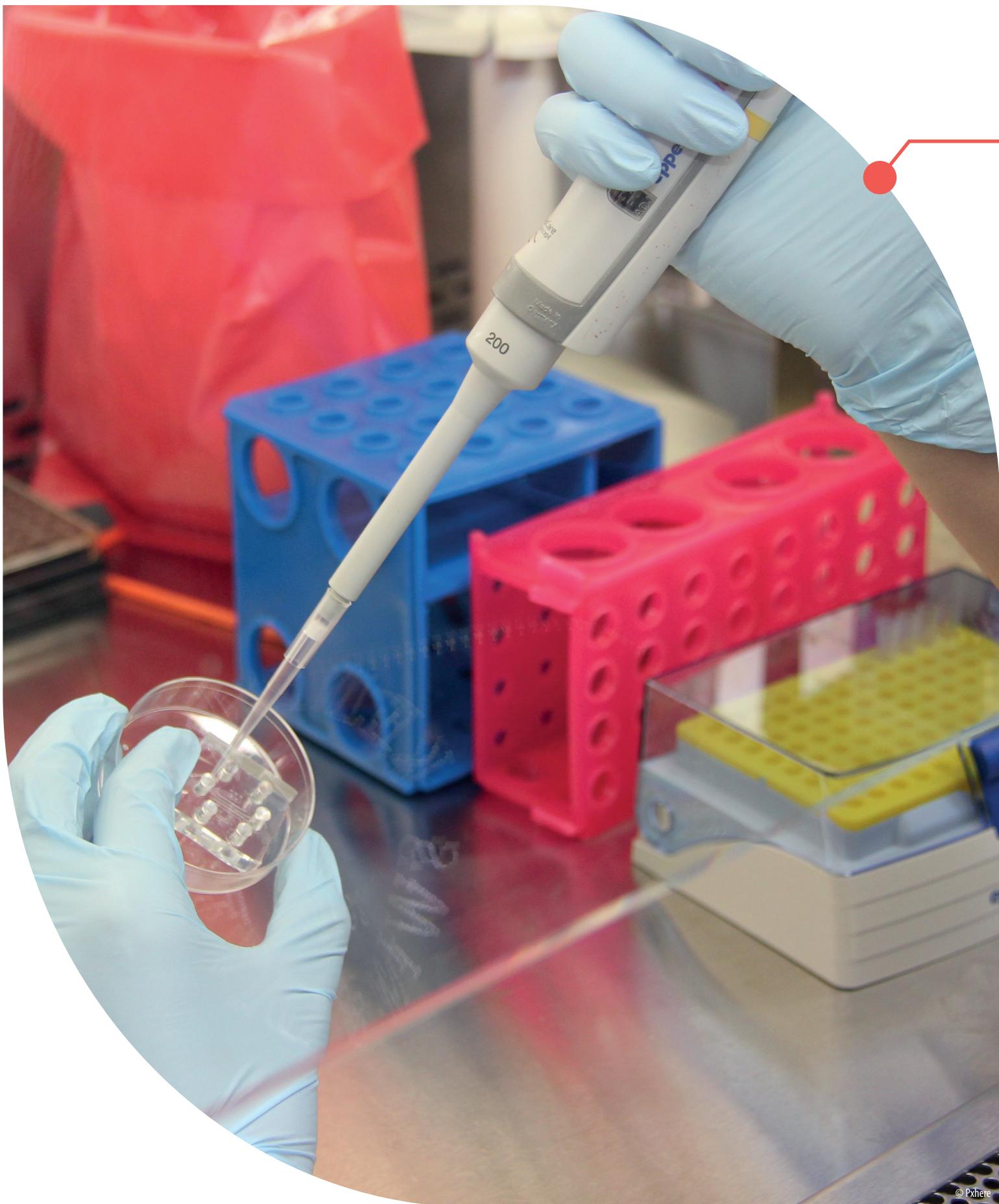
Les projets de ressourcement financés dans le cadre de Qualiment® soutiennent entre autre les équipes dans le développement de compétences portant sur la reformulation pour les qualités nutritionnelle et sensorielle, sur le microbiote et les ferments d'intérêt, ou sur la diversification des sources de protéines.

Les travaux menés depuis plusieurs années permettent ainsi de proposer des solutions de formulation ou de structuration pour concevoir des aliments moins gras, moins salés et moins sucrés sans perte de leurs qualités nutritionnelles ni augmentation des risques pour le consommateur. De même ces solutions peuvent être mobilisées pour concevoir des aliments plus satiétogènes ou en moduler la bioaccessibilité des nutriments.

La connaissance des bactéries de nos microbiotes et les collections existantes de microorganismes technologiques sont des outils précieux pour proposer de nouvelles fonctionnalités « santé ». Cette utilisation peut être combinée à l'incorporation de protéines végétales pour des produits innovants, répondant aux souhaits actuels d'une incorporation croissante de matières premières végétales sans altérer les qualités organoleptiques. Ainsi, des cocktails microbiens ont pu être sélectionnés pour améliorer la qualité organoleptique de gels à base de protéines de pois.

Les 690 personnels de recherche et les 12 plateformes technologiques des unités du réseau Qualiment® sont ainsi des partenaires de recherche privilégiés pour aider les industriels de l'agro-alimentaire, des ingrédients et les équipementiers à s'adapter aux nouvelles exigences en matière d'alimentation.

*Catherine Renard*



© Pxhere



# L'institut Carnot Qualiment® la recherche pour les entreprises

## Un label d'excellence pour des partenariats réussis

Qualiment® fait partie du réseau des instituts Carnot depuis mai 2011, date à laquelle il a été labellisé une première fois. Cette première période de labellisation qui s'est achevée en 2016 a été prolongée pour le réseau Qualiment® qui a tenu ses engagements de professionnalisme dans les collaborations de recherche avec les entreprises et a maintenu son haut niveau scientifique.

Les instituts Carnot sont des structures de recherche publique, labellisées par le ministère de la recherche, qui prennent des engagements forts pour mener et développer une activité de recherche partenariale au bénéfice de l'innovation des entreprises – de la PME au grand groupe – et des acteurs socioéconomiques.

L'objectif des instituts Carnot est d'accroître l'impact économique des actions de R&D menées par leurs laboratoires en partenariat avec les entreprises en termes de création d'emploi, de chiffre d'affaires national et à l'export, et donc de compétitivité.

Pour répondre  
aux grands enjeux  
économiques et sociétaux...

**Un besoin d'ÉNERGIE dans un nouveau contexte environnemental**  
**Une attente de SANTE et de BIEN ÊTRE**  
**Une envie de BOUGER, d'ÉCHANGER et de COMMUNIQUER**

... le réseau Carnot mobilise  
6 grands domaines  
de compétence

**Mécanique, matériaux et procédés**  
**Énergie, transport**  
**TIC, micro et nano technologies**  
**Construction, génie civil, aménagement du territoire**  
**Environnement, ressources naturelles, chimie**  
**Santé, technologies pour la santé, nutrition**

## LES INSTITUTS CARNOT EN CHIFFRE

38

**Un réseau Carnot  
de 38 Carnot**

29 instituts  
et 9 Tremplins Carnot

18%

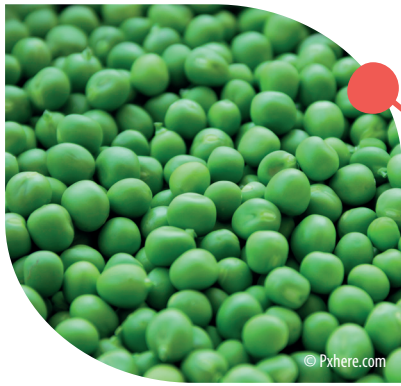
**18% des effectifs de la  
recherche publique**

30 000 professionnels  
de la recherche en ETP  
dont 9 300 doctorants,  
1 410 en contrat CIFRE encadrés  
par 4 900 chercheurs habilités

50%

**50% de la R&D financée  
par les entreprises à la  
recherche publique française**

9 000 contrats de recherche,  
dont 3 600 avec PME et ETI



# Qualiment®

réseau de structures de recherche spécialisées en nutrition, sensorialité, comportement alimentaire, structure des aliments et procédés

est l'institut Carnot dédié à la filière agroalimentaire

## Qualiment® 3 ATOUTS ESSENTIELS POUR LES ENTREPRISES



### UN PORTAIL

- qui vous met en relation avec 650 chercheurs, ingénieurs, doctorants et post-doctorants.
- qui vous donne accès, par son intermédiaire, à l'ensemble des forces de la recherche publique française en alimentation.



### DES MOYENS TECHNOLOGIQUES

- 12 plateformes technologiques et de transposition industrielle à la pointe de l'innovation.



### DES SCIENTIFIQUES DÉDIÉS À VOTRE PROJET

- des chercheurs à votre écoute et ayant l'expérience du partenariat industriel
- une ouverture vers un réseau de chercheurs ayant des compétences dans divers domaines pour vous proposer des solutions adaptées à vos besoins.

## Des axes stratégiques de recherche POUR UNE APPROCHE TRANSVERSALE DE L'ALIMENTATION

7 axes de recherche ont été choisis comme prioritaires sur la base de la reconnaissance internationale dont font l'objet les entités de Qualiment® et selon leur fort potentiel d'innovation. Ces axes font l'objet de projets de ressourcement, financés par l'abondement de l'ANR, pour accentuer le caractère différenciant des laboratoires de Qualiment®. Ils sont résumés ci-après.

- 1 | Microbiote intestinal, probiotiques, ferments d'intérêt pour l'alimentation et la santé
- 2 | Développement d'aliments destinés à des populations spécifiques
- 3 | Reformulation d'aliments pour la qualité nutritionnelle et sensorielle (y compris la réduction du sel, sucre, gras et le clean label)
- 4 | Orienter le consommateur vers des régimes sains
- 5 | Diversification des sources de protéines pour une alimentation saine et durable
- 6 | Apport du numérique pour le contrôle en ligne et l'interface consommateur
- 7 | Modélisation et intégration de connaissances



## PRÉSENTATION DES AXES

### 1 Microbiote intestinal, probiotiques, ferments d'intérêt pour l'alimentation et la santé

Les aliments fermentés et les aliments fonctionnels contenant des probiotiques représentent deux marchés en forte évolution qui correspondent bien à la demande sociétale actuelle d'une alimentation naturelle.

Les compétences de l'institut Carnot permettent notamment, à partir d'une fonction microbienne requise et demandée par l'industrie (acidification, production de bactériocines, aromatisation, texturation pour les ferments alimentaires et propriétés anti-inflammatoires, satiétogènes, d'amélioration de la digestibilité pour l'industrie pharmaceutique) de sélectionner, de produire, de conserver, de stocker et enfin d'utiliser rationnellement les microorganismes vecteurs de ces fonctions.

Cette compétence s'applique aux bactéries aérobies ou anaérobies facultatives que l'on retrouve dans les aliments fermentés mais aussi aux microorganismes strictement anaérobies commensaux de l'intestin humain. Par ailleurs, la constitution de communautés microbiennes est également envisagée dans cet objectif fonctionnel.

### 2 Développement d'aliments destinés à des populations spécifiques

Les recommandations nutritionnelles et alimentaires sont définies pour la population générale et pour des groupes de personnes relativement larges (enfants, adolescents, personnes âgées,...). Ces recommandations doivent dans certains cas être précisées pour répondre aux besoins et aux spécificités de sous-groupes plus restreints. L'objectif de cette thématique est d'identifier les problématiques liées à des populations cibles particulières et pour lesquelles la nutrition et l'alimentation peuvent être des leviers d'action permettant un meilleur maintien de l'état de santé. Il s'agit également de développer des aliments qui répondent aux besoins nutritionnels spécifiques des populations cibles et qui tiennent compte à la fois de leurs caractéristiques métaboliques et de leurs problèmes pratiques d'alimentation. Ces problèmes peuvent d'être d'ordre physiologique, pathologique, psychologique, social, comportemental et leur prise en compte est essentielle au succès des stratégies développées.

#### Les cibles identifiées sont :

##### LES NOURRISSONS

- Réduction du risque allergique, mise en place de la tolérance orale, solutions adaptées au risque de régurgitation, optimisation de l'offre alimentaire

##### LES ENFANTS ET ADOLESCENTS

- Réduction du risque allergique, optimisation de la diversification alimentaire, réduction du risque de surpoids

##### LES FEMMES ENCEINTES ET ALLAITANTES

- Optimisation de l'alimentation et la nutrition maternelle, empreinte périnatale

##### LES PERSONNES S'ALIMENTANT HORS DOMICILE : ALIMENTATION NOMADE, HORS FOYER

##### LES PERSONNES PRATIQUANT DES RÉGIMES D'EXCLUSION

##### LES POPULATIONS ÉCONOMIQUEMENT DÉFAVORISÉES

##### LES PERSONNES ÂGÉES

- Prévention de la dénutrition et des conséquences du vieillissement (troubles locomoteurs, syndrome de fragilité, troubles cognitifs, risque pathologique), optimisation de l'offre alimentaire

##### LES SPORTIFS

- Optimisation de l'alimentation et de l'offre alimentaire pour répondre aux besoins (anabolisme musculaire, métabolisme, récupération, allergie)

##### LES PERSONNES À RISQUE DE MALADIE OU SOUFFRANT DE MALADIE :

- Prévention du risque de dénutrition lié aux troubles fonctionnels (troubles oro-sensoriels, troubles de l'oralité, dysphagie, maladies du tube digestif, maladies inflammatoires, etc.)

- Prévention des risques pathologiques liés aux dysfonctions métaboliques (obésité, insulino-résistance, hyperlipidémie, maladies métaboliques nécessitant un régime hypoprotéique, etc.)

- Prévention du risque et prise en charge des maladies neurodégénératives (déficits cognitifs, pathologies oculaires)

- Prise en charge de patients en traitement : greffes/dialyse/ patient agressé

### 3 Reformulation d'aliments pour la qualité nutritionnelle et sensorielle (y compris la réduction du sel, du sucre, du gras et le clean label)

Le consommateur attend des produits bons pour la santé, moins transformés, utilisant des ingrédients en nombre limité et plus naturels. Les industriels de l'agro-alimentaire sont ainsi amenés à reformuler leurs produits pour répondre à la demande tout en maintenant deux prérequis : la qualité sanitaire et une bonne acceptabilité sensorielle du produit.

Il est maintenant nécessaire de mener des études intégrées pluridisciplinaires :

- approche multicritère
- décloisonnement amont/aval au bénéfice des acteurs de la filière.

Les équipes de Qualiment® possèdent des compétences complémentaires pour faire progresser la connaissance dans ce domaine et peuvent proposer soit des projets en partenariat avec les industriels sur des questions relevant de leurs compétences acquises, soit des questions de recherche sur des aspects fondamentaux restant à approfondir pour lever les verrous existants.

### 4 Orienter le consommateur vers des régimes sains

Les comportements alimentaires d'une grande partie des consommateurs français ne sont pas en parfaite adéquation avec les recommandations actuelles des autorités de santé publique que ce soit en termes de types d'aliments ou de quantités consommées. Les déviations par rapport aux recommandations et besoins des individus diffèrent cependant considérablement au sein de la population.

Ainsi, chez les enfants, la problématique est plutôt d'augmenter la consommation de produits souvent peu appréciés et peu consommés tels que les légumes et de limiter l'attraction pour des aliments très sucrés, salés ou gras. Chez les seniors, et en particulier les grands seniors, une problématique courante est le risque de dénutrition, la question est alors de trouver des solutions pour satisfaire leurs besoins nutritionnels. Chez les jeunes adultes, l'influence des pairs et les contraintes financières semblent primordiales sur les habitudes alimentaires.

De même, les inégalités sociales liées à l'alimentation sont marquées en France et les stratégies visant à améliorer la qualité de l'alimentation en milieu modestes restent, à ce jour, trop peu efficaces. Orienter les consommateurs vers des régimes sains implique de mieux connaître les déterminants de leurs préférences et choix alimentaires, de mieux comprendre les mécanismes du plaisir alimentaire, de mieux comprendre les mécanismes sous-jacents des comportements ingestifs (faim, rassasiement, satiété...).

Les approches à utiliser pour orienter les consommateurs vers des comportements alimentaires sains doivent donc tenir compte des différences inter-individuelles. Cela implique aussi de mieux comprendre comment les événements de vie (mise en couple, arrivée des enfants, retraite, dépendance...) pourraient constituer des périodes de transition vers l'adoption d'habitudes alimentaires saines. Tout ceci suppose de développer des méthodes innovantes permettant d'obtenir des mesures des comportements des consommateurs et de leurs déterminants qui soient fiables et adaptées à chaque groupe de population.

## 5 Diversification des sources de protéines pour une alimentation saine et durable

L'augmentation de la population mondiale dans les prochaines décennies va conduire à accroître la demande en protéines pour couvrir les besoins nutritionnels. L'augmentation du niveau de vie dans les pays émergents risque aussi d'accroître la demande en produits animaux, riches en protéines, déjà forte dans les pays industrialisés. Or, il n'est pas possible, pour des questions de durabilité, d'augmenter les productions animales.

Il est donc nécessaire de trouver des sources alternatives de protéines pour couvrir l'augmentation des besoins nutritionnels et d'imaginer des formulations alimentaires utilisant ces sources protéiques et acceptées par les populations en substitution aux produits animaux. Pouvant être produits en grande quantité, dans des conditions de culture variées, les végétaux constituent une alternative intéressante.

Sur la base des critères classiques (équilibre et biodisponibilité des acides aminés indispensables), la qualité nutritionnelle des protéines végétales est cependant généralement considérée comme étant inférieure à celle des protéines animales. D'autres sources de protéines pourraient également apparaître sur le marché, telles que les protéines d'insecte, de champignons, de levures, d'algues ou de micro-algues.

Le défi pour les prochaines années sera donc de développer, en utilisant des procédés innovants, des aliments protéiques incorporant ces nouvelles sources de protéines (végétales et autres), offrant une bonne qualité nutritionnelle, attractifs sur le plan gustatif, et ne présentant pas de risque pour la santé (allergie, présence de contaminants ...). Le développement d'ingrédients à haut pouvoir fonctionnel à partir de ces protéines est également un enjeu d'innovation.

## 6 Apport du numérique pour le contrôle en ligne et l'interface consommateur

Trois axes ont été identifiés sur cette approche :

**LE TRAITEMENT MASSIF DE DONNÉES POUR DES RÉGIMES PERSONNALISÉS** a pour objectif l'identification des paramètres de risques utilisables pour créer des profils de personnes risquant de développer certaines pathologies.

**LE CONTRÔLE EN LIGNE REPOSE SUR PLUSIEURS BESOINS IDENTIFIÉS** : caractériser et identifier les descripteurs de la qualité, développer des capteurs pour les mesures en ligne et pour caractériser les matières premières et les produits finis. L'objectif est d'établir des corrélations pertinentes entre les descripteurs de la qualité des matières premières et des produits finis mais aussi des corrélations entre les critères de qualité et les itinéraires techniques de production et de transformation. La qualité est complexe car multicritère et évolutive. Sa caractérisation fait donc appel à un large panel de descripteurs et de méthodes qui sont différents selon les filières et les matrices.

**RÉALITÉ VIRTUELLE** : l'expression « réalité virtuelle » renvoie à une technologie informatique qui simule la présence physique d'un utilisateur dans un environnement artificiellement généré par des logiciels, environnement avec lequel l'utilisateur peut interagir. La réalité virtuelle permet donc en particulier de reproduire artificiellement une expérience sensorielle, qui peut inclure la vue, le toucher, l'ouïe et l'odorat.

La finalité de la réalité virtuelle est de permettre à une personne (ou à plusieurs) de vivre une expérience d'immersion, c'est-à-dire de mener une activité sensori-motrice et cognitive dans un monde créé numériquement, qui peut être « imaginaire, symbolique ou une simulation de certains aspects du

monde réel ». Ici la réalité virtuelle va être mise au service du développement de produits que ce soit l'évaluation de produits virtuels ou l'évaluation de produits réels mais dans un contexte différent d'un box sensoriel.

## 7 Modélisation et intégration de connaissances

Cet axe vise à comprendre les transformations multi-échelles des aliments et leur genèse, les prédire, traverser les échelles de la plus petite (ie. structure d'une protéine laitière) à la plus grande (ie. une filière alimentaire), exploiter au mieux la composition d'une matière première brute pour en faire un aliment apte à répondre aux attentes en termes sensoriel ou de sécurité par exemple, passer de l'échelle du champ au consommateur en inventant des solutions durables.

Néanmoins, ces questions s'accompagnent de niveaux de complexité importants. Cela nécessite en effet une vision de plus en plus intégrative, où l'émergence de propriétés globales du système résulte de comportements locaux. Ce qui est par exemple le cas lorsque l'on s'intéresse à la texture et à la structure d'un produit alimentaire, à l'équilibre des flores à la surface d'un aliment fermenté et son impact sur les propriétés sensorielles globales de celui-ci, ou encore à l'organisation d'une filière alimentaire à l'échelle d'un territoire.



© Qualiment

# Qualiment®

## à la rencontre des entreprises

afin de présenter ses offres de recherche  
et de mieux cerner les besoins de ses partenaires

### ... à travers 14 salons soit environ 140 rendez-vous d'affaires

- Le congrès Sirah annuel à Lyon
- Le rendez-vous de la Foodtech à Dijon
- Deux congrès sur les légumineuses organisés par l'INRA, et les pôles de compétitivité IAR et Vitagora
- Le congrès Nutrevent organisé par le pôle de compétitivité NSL
- Le congrès annuel de Vitagora
- Le baromètre de l'innovation du pôle de compétitivité Valorial
- Les rendez-vous Carnot organisés chaque année par l'Association des instituts Carnot
- Le rendez-vous annuel BPI Innovation
- La journée Naturalité de Terralia
- Les Journées Techniques de l'Industrie Céréalière
- Le Forum Vitae, pour encourager les jeunes ingénieurs à monter des start'ups avec la recherche publique
- Le forum annuel Hello Tomorrow de connexion des meilleurs entrepreneurs deeptech avec les acteurs de la recherche et les grands groupes
- Le congrès Food is Social mettant en exergue l'agro-alimentaire à la lumière du digital

### ... à travers des rendez-vous en face à face avec...

- des entreprises et des coopératives de l'agroalimentaire
- des entreprises des ingrédients
- des équipementiers
- des start'up
- des interprofessions
- des structures d'appui pour les entreprises

### ... à travers l'organisation des "Rencontres Qualiment®" à Dijon qui ont permis de présenter aux partenaires industriels les derniers résultats des projets de recherche conduits par les équipes de Qualiment® et d'organiser des rendez-vous d'affaires.

- Les rencontres ont rassemblées plus de 120 inscrits.
- Sur le thème de l'optimisation du goût des aliments en présentant de nouvelles approches, de nouveaux leviers et de nouveaux outils comme le logiciel d'analyse sensorielle en DTS (Détermination Temporelle des Sensation) que les participants ont pu tester.





© Pexels - Tookapic

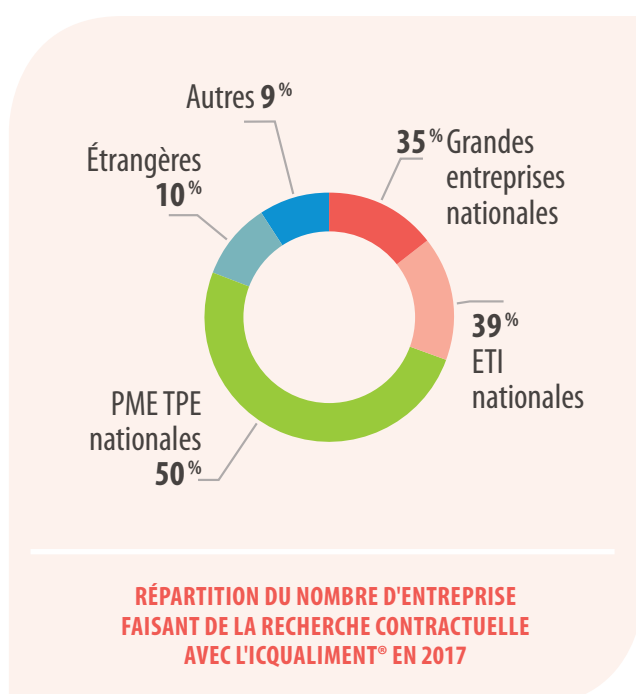
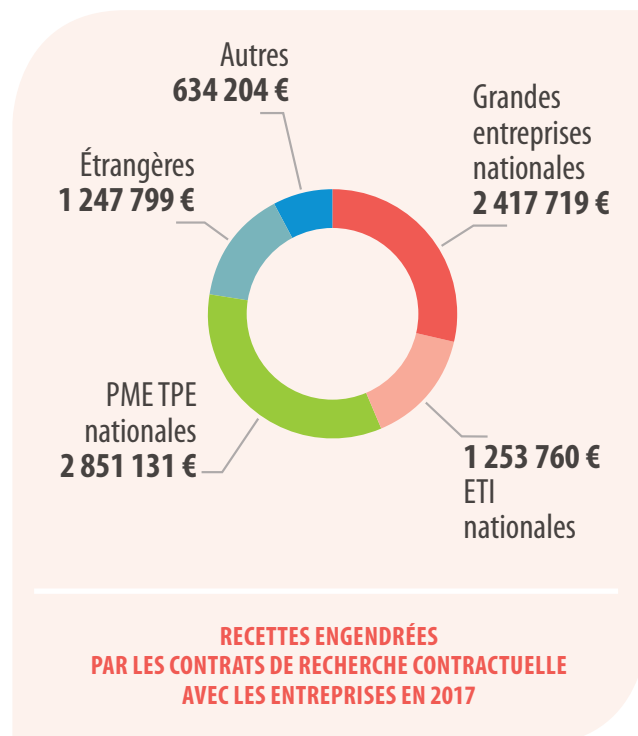
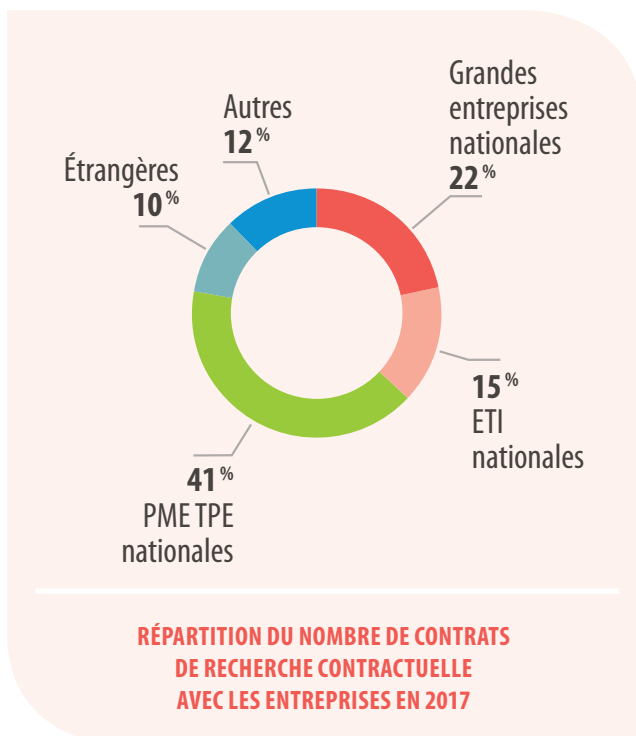




# 2017

## Les chiffres marquants

L'intégration des nouvelles entités de recherche au sein de l'institut Carnot Qualiment® permet d'être plus en adéquation avec les demandes de petites entreprises.





© Pxhere.com





# — Des projets pour le partenariat et le transfert

L'appel à projets annuel diffusé par la direction de Qualiment®, finance, grâce à l'abondement attribué par l'ANR, des projets dont l'objectif est de créer des connaissances valorisables auprès des entreprises.

## MISE EN LUMIÈRE DES PROJETS FINANCÉS EN 2017...

### NATIVIF

Conception d'une formule infantile native par filtration : impacts nutritionnel, physiologique et sensoriel

- Développer des itinéraires technologiques de rupture, utilisant des procédés de filtration membranaire et de séchage doux, permettant de produire une formule infantile la plus native possible et sûre microbiologiquement
- Évaluer l'intérêt en termes nutritionnel, physiologique et sensoriel d'une telle formule par rapport à une formule classique, ayant reçu de nombreux traitements thermiques

### VEGGIN

Interactions protéines végétales – protéines de blanc d'œuf pour le développement d'ingrédients fonctionnalisés

- Acquisition de connaissances sur les interactions entre protéines végétales et protéines de blanc d'œuf (comme modèle de protéines animales durables)
- Fonctionnalisation de mix protéines végétales – protéines de blanc d'œuf par des traitements thermiques en voie sèche ou liquide
- Preuves de concept sur produits alimentaires réels

### SHPORE

Maîtrise des spores bactériennes par des traitements Hautes Pressions industrialisables

- Définir des procédés permettant la maîtrise des spores bactériennes par des traitements HP dans des conditions crédibles techniquement et économiquement pour un transfert industriel de résultats scientifiques

### TRANSQUAPIL

Piloter la transformation des fruits et légumes pour valoriser leurs qualités naturelles : développement d'un robot cuiseur instrumenté pour la mesure en continu.

- Identifier des marqueurs de la qualité corrélés à l'évolution de la texture d'une purée de fruits et légumes, les suivre en ligne et en temps réel par l'instrumentation d'un robot cuiseur en vue de piloter les procédés de transformation.

### IMM-EXPER

IMMersion pour une EXPérience de consommation en Environnement maîtrisé par Réalité virtuelle

- Utiliser la Réalité Virtuelle pour proposer des mesures en contexte immersif afin de reproduire une expérience de consommation et mieux appréhender le comportement des consommateurs



© Hans Hillewaert



# Success Stories

## CRÉATION DE LA START-UP NEXTBIOTIX

Au sein de l'unité Micalis (Jouy-en-Josas), l'équipe ProbiHôte, animée par Philippe Langella, étudie les interactions avec l'hôte (I) des microbiotes résidents et en transit (II) des bactéries commensales et probiotiques dans des contextes physiologiques et physiopathologiques de l'intestin.

Particulièrement, l'équipe étudie l'adaptation des probiotiques au tractus digestif et détermine les mécanismes de leurs effets bénéfiques (en particulier les effets anti-inflammatoires). Elle analyse la réponse de l'hôte aux bactéries commensales et aux probiotiques et participe à des essais cliniques humains pour étudier les effets de ces bactéries dans des conditions physiopathologiques.

Dans le cadre de ses recherches, l'équipe ProbiHôte a mis en évidence, sur la base de la comparaison du microbiote de patients atteints de maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI) et de sujets sains, l'effet protecteur de la bactérie *Faecalibacterium prausnitzii* (F. prau) dans le cadre de maladies telles que la maladie de Crohn (MC) et la rectocolite hémorragique (RCH). Trois brevets, dont l'INRA est copropriétaire (aux côtés de l'UPMC, l'Inserm, l'AP HP, AgroParisTech et de l'école d'ingénieurs de Purpan) ont été déposés pour protéger l'utilisation de F. prau dans le cadre du traitement de ces maladies.

La société Nexbiotix, créée en janvier 2017 sur la base des travaux de l'équipe ProbiHôte, exploite ces trois brevets ainsi que deux savoir-faire complémentaires issus de l'Université de Bourgogne et la SATT Grand Est. Ces savoir-faire secrets protègent un procédé de production industriel de la bactérie F. prau ainsi qu'un milieu de culture spécifique permettant sa croissance.

L'objet du projet de la startup Nexbiotix est la valorisation industrielle de souches de bactéries commensales dont la proportion s'amointrit dans certaines conditions physiopathologiques et porteuses d'activité biologique à potentiel thérapeutique.

La création de Nexbiotix apparaît comme une opportunité et un atout pour la réussite du futur développement de la bactérie F. prau.

Le premier objectif de Nexbiotix est de développer des solutions innovantes thérapeutiques utilisant la bactérie F. prau permettant de lutter pour la prévention et le traitement des MICI chez l'Homme. Les MICI sont des maladies complexes impliquant un dialogue anormal entre le microbiote intestinal et l'immunité de l'hôte. Les traitements actuels sont essentiellement des corticoïdes et des immunosuppresseurs ciblant uniquement le versant hôte de la pathogenèse de la maladie. De plus, ces traitements ont une efficacité incomplète et sont associés à des effets secondaires potentiellement graves, telles que des infections et des cancers. Ces aspects sont maintenant considérés comme une préoccupation majeure, en particulier dans la population âgée. Un besoin urgent existe donc pour une approche originale visant le microbiote, seul ou en combinaison avec des molécules ciblant l'hôte. Le marché des médicaments contre les MICI a été estimé à 8,5 milliards de dollars en 2016 et devrait atteindre 9,5 milliards de dollars en 2020.

Le produit médicament en développement immédiat est la souche de F. prau brevetée pour ses propriétés anti-inflammatoires et anti-nociceptives. Elle sera utilisée comme adjuvant aux traitements actuels (corticoïdes et immunosuppresseurs) en traitement d'attaque et en traitement de fond chez ces patients.

Ces effets et le médicament qui pourra en résulter sont une piste sérieuse pour traiter les MICI affectant l'intestin grêle et le colon.

## LES BACTÉRIES LACTIQUES COMBINÉES AUX HAUTES PRESSIONS POUR UN PROCESSUS DE STABILISATION DURABLE DE PRODUITS À BASE DE VIANDE

Le défi pour l'industrie des produits transformés à base de viande est de proposer des produits innovants répondant à la demande des consommateurs de produits durables, de haute qualité, à des prix compétitifs avec une longue durée de vie. Grâce à une approche multidisciplinaire, le projet BlacHP qui implique les unités GEPEA, CTCPA, PAM et MICALIS du Carnot Qualiment®, vise à proposer une nouvelle stratégie pour stabiliser efficacement les produits transformés à base de viande avec un processus durable impliquant la combinaison des hautes pressions et de la « biopréservation » en utilisant les bactériocines produites par les bactéries lactiques comme cultures de protection.

Des essais en Hautes Pressions (HP) à 5000 bar ont été réalisés sur six souches de flores sporulées avec addition de nisine, et de nitrites afin de déterminer le barème (temps, température) ainsi que les concentrations de nisine et de nitrites à l'origine du meilleur taux d'inactivation obtenu par le traitement, seul ou lors du stockage. Le temps de traitement entre 5 et 10 min ne fait aucune différence, contrairement à la température : une inactivation significative des spores est observée lors du traitement à 50°C, mais peu à 20°C. La nisine possède un impact à partir de 100 UI/mL environ, variable selon les souches. Néanmoins cet impact est observé uniquement lorsque la nisine est présente pendant le traitement et le recouvrement. Les concentrations de nitrites ne montrent pas de différence sur le taux d'inactivation entre 25 et 80 ppm.

Le projet est en cours, affaire à suivre...



## COQUILLAGE OU GOÛT FRUITÉ : LA MINÉRALITÉ DES VINS ÉLUCIDÉE

Pour étayer ou non cette hypothèse, des chercheurs du CSGA ont sélectionné des vins de Chablis, une région viticole réputée pour le caractère minéral de ses vins. Cette aire de production est structurée sur les deux rives du Serein, avec des différences d'orientation des parcelles entre les deux rives. Les chercheurs ont demandé à des vignerons du Chablisien de noter la minéralité de huit vins (quatre de chaque rive) et de décrire leurs caractéristiques sensorielles. Cette évaluation s'est faite à l'aveugle (les vignerons ne connaissaient pas l'origine des vins) et selon deux modalités : au nez (évaluation orthonasale) et en bouche (évaluation globale). En parallèle, les chercheurs ont analysé les vins et déterminé leur composition chimique.

Les résultats ont montré que les vins de la rive gauche avaient des notes de minéralité supérieures à ceux de la rive droite, mais seulement lorsqu'ils étaient évalués au nez. Contrairement aux idées reçues, les ions minéraux présents dans les vins n'ont pas permis d'expliquer les notes de minéralité. En revanche, les jugements de minéralité étaient corrélés à la concentration d'un composé volatile, le méthaneéthiol, qui présente une odeur caractéristique de coquillage frais, et anti-corrélés à la présence de cuivre qui neutralise le méthaneéthiol et de composés fruités. Autrement dit, les notes marines et coquillages sont une dimension importante de la minéralité tandis que les notes fruitées sont plutôt absentes des vins dit minéraux.



## IMPACT DE LA PASTEURISATION ET DE L'HOMOGÉNÉISATION SUR LA DIGESTION DU LAIT MATERNEL CHEZ LE NOUVEAU-NÉ

Lorsque l'allaitement est impossible, du lait maternel pasteurisé (LMP) est préférentiellement administré, en particulier aux nouveaux-nés hospitalisés. La pasteurisation de Holder (62,5°C; 30 min) est appliquée pour des raisons sanitaires mais pourrait réduire l'absorption des lipides via l'inactivation des lipases endogènes du lait. L'homogénéisation du LMP pourrait contrer cet effet négatif en augmentant la surface disponible pour l'adsorption des enzymes. L'objectif de cette thèse à l'Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage était d'étudier l'impact de la pasteurisation de Holder et de l'homogénéisation par ultra-sons sur la digestion du LM chez le nouveau-né.

Un modèle de digestion in vitro a été mis en place pour évaluer la digestion gastro-intestinale de LM cru (LMC) vs. LMP aux stades « nouveau-né à terme » ou « prématuré ». Une étude clinique a été menée chez des nouveau-nés prématurés pour comparer la digestion gastrique de (A) LMC vs. LMP et (B) LMP vs. LM pasteurisé et homogénéisé (LMPH). La pasteurisation et l'homogénéisation ont modifié la structure initiale du LM, ses cinétiques digestives et sa désintégration structurale. In vitro, la pasteurisation a réduit la lipolyse gastrique au stade à terme, alors qu'aucun impact n'a été observé au stade prématuré. La lipolyse intestinale, in vitro, a été réduite. In vivo, la pasteurisation a accéléré la protéolyse gastrique de la lactoferrine et a réduit celle de l' $\alpha$ -lactalbumine. L'homogénéisation a accéléré la lipolyse et la protéolyse de l'albumine sérique. Concernant les conditions physiologiques, l'activité lipolytique postprandiale était augmentée après administration de LMC et la vidange était ralentie après administration de LMPH. Les données in vivo décrites ici peuvent contribuer à améliorer les modèles de digestion in vitro mais aussi à soutenir la prise en charge nutritionnelle difficile des nouveau-nés prématurés.



## SALIVER POUR MIEUX SENTIR ?

L'odeur que l'on sent en mettant un aliment sous son nez est rarement identique à l'arôme que l'on détecte en mettant l'aliment en bouche. De fait, les mécanismes qui contribuent à la dégradation des aliments en bouche influencent la libération des molécules d'arômes.

Depuis quelques années, les chercheurs du CSGA, s'intéressent au rôle de la salive dans la libération des arômes. La salive est un fluide biologique composé d'eau, d'ions et de protéines salivaires, dont la composition varie beaucoup d'un individu à l'autre. Lorsqu'ils sont mis en bouche, les aliments sont rapidement imprégnés de salive ou dilués dans cette dernière.

Lors d'une étude récente, des chercheurs des unités du Carnot Qualiment® ont prélevé des échantillons de salive chez différents sujets. Des micro-volumes de ces échantillons ont été répartis dans des petits flacons et ont été mis en présence d'une molécule d'arôme. Une fois le flacon hermétiquement fermé, les chercheurs ont laissé mijoter... pour ensuite récupérer l'air contenu dans le flacon et analyser les molécules d'arômes présentes dans cet espace gazeux. Une vingtaine de molécules différentes ont été testées.

Les résultats ont montré que sous l'influence des protéines salivaires, certaines molécules d'arômes (mais pas toutes) se transforment en de nouveaux composés, ces derniers étant potentiellement eux aussi aromatiques. Mais les résultats ont également révélé des variations entre les salives provenant d'individus différents : la métabolisation des molécules d'arôme en nouveaux composés dépend de la concentration en protéines ainsi que du pouvoir antioxydant de chaque salive.

Cette étude suggère que les variations interindividuelles de métabolisation des molécules d'arôme par les enzymes salivaires pourraient jouer un rôle dans les différences de perception interindividuelle : si nous ne sentons pas tous la même chose en mangeant un aliment, c'est en partie parce que nous ne salivons pas tous de la même façon !





## PHÉNOMÈNES PHYSIQUES À L'INTERFACE MOULE-PAIN DE MIE : effets sur la structure alvéolaire, le corsetage et l'adhésion

Une caractéristique essentielle permettant de juger de la qualité du pain de mie industriel est la structure alvéolaire de sa mie et de sa croûte. Celle-ci est fortement dépendante des interactions entre moule et produit au cours du procédé de fabrication. L'objectif principal de ce projet est la compréhension des phénomènes physiques survenant à l'interface moule-produit au cours de la fermentation, de la cuisson et du refroidissement dans le moule. L'importance de l'étude de la structure alvéolaire, réside dans le fait que ces phénomènes sont impliqués dans les problèmes technologiques propres à cette industrie, dont l'adhésion du produit au moule lors du démoulage et le corsetage, phénomène de rétraction du pain conduisant à des parois concaves, et qui peut être un inconvénient pour le consommateur. En industrie, le corsetage ne peut être détecté qu'au moment du démoulage, donc trop tard pour essayer de corriger ce défaut. C'est pourquoi la compréhension du phénomène depuis son origine est essentielle et constitue une partie importante des travaux présentés ici.

Dans ce contexte, les liens possibles entre la formulation, le procédé de fabrication (paramètres de cuisson, rugosité des moules, temps de refroidissement en moule avant démoulage, ...) sur la structure du pain, la force de démoulage et le corsetage ont été étudiés. Trois hypothèses ont été proposées comme explications possibles au phénomène de corsetage : i) la contraction du matériau constituant la mie, ii) la contraction du gaz contenu dans les alvéoles non connectées ou à faible taux de connectivité au cours du refroidissement, et iii) les transferts d'eau entre la mie, la croûte et le moule, et leur effet sur les propriétés mécaniques du pain qui se traduirait par une moindre rigidité de la croûte. L'ensemble de ces résultats ont montré que le phénomène de corsetage serait plutôt causé par une contraction du matériau mie. Ce résultat soutient le fait que le corsetage commence à se développer en cours de cuisson puis s'amplifie au cours du refroidissement après cuisson. Les phénomènes de condensation dans l'espace moule-croûte qui rendent la croûte moins résistante contribuent à amplifier le corsetage et augmenter les forces de démoulage. Par ailleurs, le type de matière grasse utilisé, les additifs (E471+amylase) et la formulation en général semblent jouer un rôle important sur la structure et la rigidité de la croûte ; une matière grasse faiblement saturée (et donc non cristallisée en cours de procédé) et l'absence de fibres conduisent à une mie et une croûte moins rigides et à un corsetage accru. Le démoulage dépend également du degré d'usure du revêtement du moule.





## LES COACERVATS DE BETA-LACTOGLOBULINE ET LACTOFERRINE POUR L'ENCAPSULATION D'UNE MOLÉCULE BIOACTIVE MODÈLE, LA VITAMINE B9

De nos jours, les aliments fonctionnels connaissent un intérêt grandissant, de par leur potentiel à prévenir certains types de maladies et à contribuer à des modes de vie quotidiens plus sains. Pour la formulation de ces aliments, l'encapsulation de bioactifs et leur incorporation dans une matrice alimentaire représentent une voie intéressante. Avec la volonté actuelle de l'industrie agro-alimentaire de développer des aliments « clean label » (sans additifs), l'utilisation de protéines alimentaires comme agents d'encapsulation semble pertinente. Ainsi, les protéines de lactosérum (PS), coproduits des industries laitières, présentent de bonnes potentialités en tant qu'agents d'encapsulation, ce qui pourrait améliorer in fine leurs valeurs ajoutées. Des travaux antérieurs ont démontré que deux PS, la beta-lactoglobuline (BLG) et la lactoferrine (LF), sont capables de former spontanément des co-assemblages par coacervation complexe ; la coacervation étant une technologie d'encapsulation connue. Dans ce contexte, la présente thèse vise à étudier la coacervation entre la BLG et la LF pour l'encapsulation d'un bioactif modèle, la vitamine B9. En testant une gamme de pH, de concentrations et de ratios molaires, les conditions optimales pour la formation des coacervats B9-PS sont obtenues : dans l'eau, à pH 5,5, avec un ratio molaire de LF:B9:BLG de 1:5:10. Cela permet d'atteindre des rendements de coacervation des PS de 45 à 55 %, et d'encapsulation de B9 jusqu'à 98 %. Par la suite, l'échelle de production des coacervats est augmentée avec succès du  $\mu\text{L}$  au L, en utilisant des solutions protéiques de qualité commerciale et un mélangeur statique. Les rendements de coacervation et d'encapsulation sont conservés, permettant de produire des coacervats de PS contenant 4 mg B9 / g de coacervats. En appliquant in vitro des conditions de dégradations (UV, oxydation, lyophilisation), les coacervats de PS démontrent un bon effet protecteur, limitant la dégradation de la forme native bioactive de B9. De plus, une étude in vivo sur des rats met en évidence une augmentation de la biodisponibilité de B9 lorsqu'elle est administrée par le coacervat de PS plutôt que seule.

Enfin, les coacervats de PS apparaissent relativement stables lorsqu'ils sont resuspendus sous formes de gouttelettes dans une matrice laitière. Ainsi, l'ensemble des résultats de cette thèse permet d'approfondir les connaissances sur la coacervation hétéroprotéique, en essayant de relier ses aspects théoriques à ses applications potentielles pour former des agents d'encapsulations naturels et innovants.



## MODÉLISATION ET DÉVELOPPEMENT D'OUTILS POUR L'ÉCOCONCEPTION D'UN PROCÉDÉ DE CONCENTRATION EN INDUSTRIE LAITIÈRE : cas de l'évaporation du lait

Thèse de doctorat, Institut Supérieur des Sciences Agronomiques, Agroalimentaires, Horticoles et du Paysage, FRA

L'industrie agroalimentaire doit intégrer aujourd'hui la dimension environnementale dans la conception de ses procédés. Des approches systémiques d'écoconception, développées pour les procédés chimiques et pétrochimiques, combinent modélisation et optimisation multiobjectif, ce qui permet d'obtenir des solutions de compromis où plusieurs critères sont considérés simultanément. L'application de ces approches aux procédés agroalimentaires est freinée par un manque de connaissances des impacts du procédé sur les caractéristiques du produit alimentaire (et vice-versa) et dans la modélisation des procédés.

Dans ce contexte, ce travail de recherche consiste à développer un cadre méthodologique d'écoconception de procédés agroalimentaires combinant modélisation, optimisation multiobjectif et analyse multicritère, avec pour support l'exemple du procédé d'évaporation du lait. Le procédé d'évaporation fait en effet partie des procédés les plus énergivores du secteur laitier, représente un fort potentiel d'optimisation, et pour lequel les démarches systémiques d'écoconception sont peu nombreuses dans la littérature. Dans une première partie du travail, un simulateur de procédés commercial a été adapté à la modélisation des évaporateurs traitant du lait : des modèles de propriétés du produit et de coefficient d'échange ont été sélectionnés dans la littérature et intégrés au simulateur. Des données recueillies sur plusieurs procédés d'évaporation de lait, couvrant des échelles

variées (du pilote à l'installation industrielle), ont permis de fournir un regard critique sur l'utilisation de ces modèles. Une seconde partie a consisté à développer un outil simplifié de calcul des inventaires d'une séquence de nettoyage, afin de l'intégrer dans la démarche d'écoconception. Cet outil prédit la durée de nettoyage efficace et les consommations associées à partir des conditions opératoires du nettoyage, selon un modèle empirique. Des critères économiques et environnementaux peuvent ainsi être calculés pour optimiser et analyser les solutions de conception du procédé selon plusieurs objectifs du développement durable. L'optimisation multiobjectif est réalisée à l'aide d'un algorithme génétique, et une méthode d'aide à la décision permet d'identifier les meilleures solutions de compromis.

Pour illustrer ses potentialités, le cadre méthodologique est utilisé dans une première étude où trois solutions de conception d'un évaporateur sont analysées selon différents critères, puis dans l'appui au choix stratégique d'un combustible en vue de la production d'énergie sur site, et enfin dans la recherche de la conduite opératoire optimale du nettoyage par optimisation multiobjectif. Les travaux réalisés permettent d'envisager l'écoconception de la chaîne de production de poudre de lait dans son ensemble, avec l'ajout de modèles des autres étapes de concentration (opérations à membranes, séchage), le couplage avec des méthodes d'intégration énergétique, et enfin la prise en compte de la qualité du produit, grâce à une modélisation des propriétés du produit.





## ACCROÎTRE LA SURVIE DES PROBIOTIQUES AU SÉCHAGE EN STIMULANT LEUR ADAPTATION AUX STRESS

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), ont défini officiellement les probiotiques en 2001, comme étant des « micro-organismes vivants qui, lorsqu'ils sont ingérés en quantité suffisante, exercent des effets positifs sur la santé, au-delà des effets nutritionnels traditionnels ». S'ils sont généralement associés aux produits laitiers, on les retrouve actuellement dans diverses applications alimentaires aussi bien pour l'homme que pour l'animal. L'utilisation de tels micro-organismes par l'industrie nécessite le recours à des procédés de production et de conservation susceptibles d'altérer l'intégrité structurelle et fonctionnelle des cellules. La lyophilisation, qui agit par combinaison du froid et du vide, est la méthode de séchage la plus répandue à grande échelle pour conserver des bactéries. Si elle apparaît comme une solution fonctionnelle pour stabiliser des populations bactériennes en maintenant leur viabilité et en facilitant leur manipulation et stockage, elle reste néanmoins onéreuse et gourmande en énergie. D'autres alternatives comme l'atomisation et la fluidisation existent, mais mobilisent des températures supérieures, avec pour conséquences, des pertes de survie et de fonctionnalité des bactéries.

Les scientifiques du laboratoire « Science et Technologie du Lait et de l'Oeuf » (STLO) ont imaginé un procédé simplifié et peu coûteux de séchage par atomisation, maintenant un niveau de viabilité proche de celui obtenu par lyophilisation. Contrairement au procédé classique qui nécessite une première étape de culture du micro-organisme sur milieu optimisé (souvent non alimentaire), suivie d'un rinçage et d'une remise en suspension dans un nouveau milieu avant séchage par atomisation, le procédé mis au point consiste en un séchage effectué directement sur milieu de culture. Outre le gain de productivité, cette simplification du procédé élimine tout risque de contamination aux étapes intermédiaires.

Testé sur deux bactéries probiotiques, l'une fragile (*Lactobacillus casei*) et l'autre robuste (*Propionibacterium freudenreichii*), le procédé a démontré une efficacité comparable à celle d'un séchage par lyophilisation, avec des taux de survie respectifs de l'ordre de 40-50 % et de 100 % en fonction des bactéries. Le milieu de culture développé utilise du lactosérum doux, co-produit de l'industrie fromagère abondant et peu coûteux. La concentration en matière sèche de ce milieu, de 20 à 30 % (p/p) d'extrait sec, a été optimisée afin d'obtenir un effet protecteur vis-à-vis des bactéries lors du séchage par atomisation. En effet, nos travaux ont démontré une osmo-adaptation des bactéries via l'accumulation de solutés compatibles (tréhalose, polyphosphates) conduisant à une tolérance accrue à différents stress incluant le stress thermique, et par suite maximisant la survie après séchage. La stabilité des micro-organismes dans le temps a également été vérifiée à 4 et 6 mois, avec des résultats comparables à ceux d'une lyophilisation.

Ce nouveau procédé permet d'envisager une production continue à des coûts énergétiques de 20 à 40 fois inférieurs à ceux de la lyophilisation, compte tenu de la moindre consommation spécifique du séchage par atomisation et de la pré-concentration du milieu de culture. Le procédé breveté semble donc particulièrement adapté à la production de bactéries probiotiques destinées à la santé animale, y compris dans les pays en voie de développement vers lesquels se délocalisent progressivement ces productions. Les probiotiques pourraient ainsi offrir une alternative aux antibiothérapies et constituer une réponse naturelle, efficace, éthique, économique et durable aux problèmes conjoints de rentabilité de production et de sécurité sanitaire. Le secteur de l'alimentation humaine constitue également une voie de valorisation de cette innovation pour la production en masse de probiotiques destinés à des produits de consommation courante.









CONTACT  
 Pauline Souvignier  
 pauline.souvignier@inra.fr  
 01 42 75 93 31  
 www.qualiment.fr

*Brevets*

*Professionalisme*

*Protéger ses résultats*

*Propriété intellectuelle Institut Carnot*  
**Contrats de recherche**  
*Transfert Valorisation*  
**Innovation Partenariats**  
*Entreprises*  
*Solutions de R&D* **Entreprises partenaires**  
*Savoir-faire secret*

