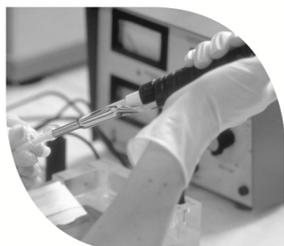


Rapport d'activités 2011 – 2012 de l'institut Carnot Qualiment®



Votre
partenaire
de recherche
pour
l'innovation

COMPORTEMENT DU CONSOMMATEUR
FORMULATION NUTRITION PROCÉDÉS
AGROALIMENTAIRE TPE PME
SENSORIALITÉ OFFRE DE RECHERCHE
ETI GRANDS GROUPES



Qualiment®

labellisé





Sommaire

2011 – 2012 en bref

Pages
04 à 06

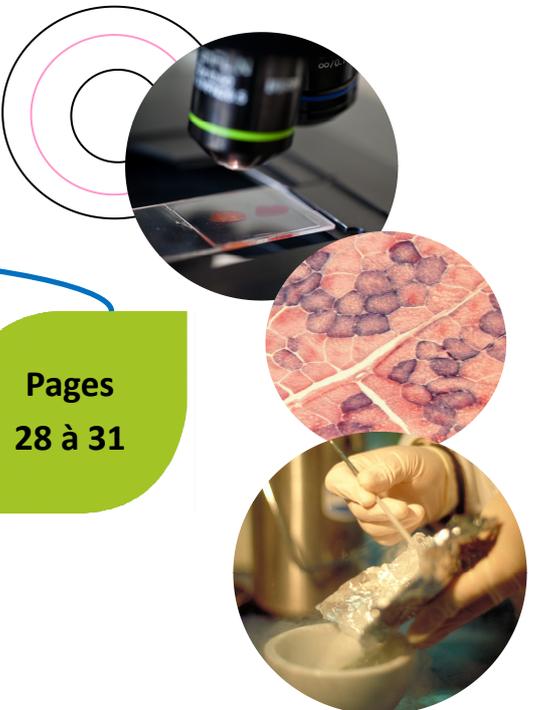
L'institut Carnot Qualiment® :
la recherche pour les entreprises

Pages
07 à 10

Des axes stratégiques de
recherche pour une approche
transversale de l'alimentation

Pages
11 à 27

Exemples emblématiques de
projets 2011—2012



Pages
28 à 31



Edito

L'institut Carnot Qualiment® a été labellisé en mai 2011, vous découvrirez dans ce rapport ses activités marquantes pour la période de mai 2011 à décembre 2012.

Qualiment® est constitué de sept unités de recherche, d'un groupement d'intérêt public (GIP) et d'un centre de ressources technologiques (CRT) ce qui représente un ensemble d'environ 680 scientifiques. Ces entités ont été choisies pour leur excellence scientifique et leur longue expérience dans la recherche partenariale.



Catherine Esnouf
Directrice de l'institut
Carnot Qualiment®

Les compétences de l'institut Carnot Qualiment® concernent à la fois

l'étude des mécanismes de libération des nutriments et des arômes ainsi que l'impact de la structure des aliments sur la biodisponibilité des composés. Mais elles vont bien au-delà, Qualiment® traitant de la conception, du pilotage et de l'impact des procédés dans le cadre du développement durable et réalisant également des études cliniques en nutrition ainsi que des études sensorielles et du comportement des consommateurs.

Qualiment® a souhaité regrouper l'ensemble des compétences nécessaires pour proposer aux entreprises une vision intégrée et complète des problématiques en alimentation. Ces compétences sont des sources d'innovations potentielles pour les industries de l'aliment, des ingrédients, de la nutrition santé et des fabricants d'équipements. Elles répondent aux grands enjeux de société que sont la santé publique et le développement durable. En tant qu'institut Carnot, Qualiment® s'est engagé à faciliter et professionnaliser la relation avec ses partenaires industriels. Qualiment® propose ainsi la meilleure offre de compétences, dans un délai rapide, en redirigeant l'entreprise vers les unités de recherche capables de lui apporter les réponses les plus adaptées, qu'elles soient au sein de l'institut Carnot ou en dehors. Qualiment® offre donc la possibilité d'être un guichet unique vers la recherche publique française dans le domaine de l'alimentation.

Afin de vous proposer des résultats et thématiques de recherche en lien avec les besoins de vos entreprises, Qualiment® s'inscrit dans une perspective d'anticipation des attentes des acteurs économiques. Pour cela, Qualiment® a établi une stratégie de recherche en concertation avec divers représentants du monde socio-économique.

Cette stratégie de recherche est décrite dans ce rapport au même titre que les actions et programmes de recherche menés depuis mai 2011 par l'institut Carnot Qualiment®.

2011 – 2012 en bref

Obtention du label institut Carnot, la garantie d'excellence pour les entreprises

Qualiment® a obtenu le label institut Carnot en mai 2011 pour une période de 5 ans. Le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche ainsi que l'Agence Nationale de la Recherche ont souligné l'intérêt de Qualiment®, seule structure de recherche labellisée institut Carnot spécialisée dans le domaine de l'alimentation et rassemblant des équipes de recherche offrant une bonne complémentarité de compétences pour aborder les problématiques des entreprises du secteur alimentaire.

Qualiment® poursuit sa professionnalisation afin de toujours mieux satisfaire les entreprises en garantissant :

- la certification qualité **ISO 9001** sur ses bonnes pratiques de contractualisation,
- l'organisation en équipe projet avec un **interlocuteur unique** et un délai de **2 mois maximum** pour instruire le contrat de recherche,
- la proposition de la **meilleure offre** : au sein des unités de recherche Qualiment® ou au-delà avec une ouverture sur l'ensemble du potentiel de recherche publique dans le domaine de l'alimentation.

Qualiment® à la rencontre des entreprises

L'institut Carnot Qualiment® a participé à **3 salons en 2011** et à **5 salons en 2012** :

- le « Congrès Goût Nutrition Santé » organisé par le pôle de compétitivité Vitagora chaque année à Dijon,
- les « Journées Alimentation Santé » organisées par le Centre Régional pour l'Innovation et le Transfert de Technologies (CRITT) Poitou Charentes à la Rochelle,
- le congrès « Nutrevent » organisé par le pôle de compétitivité Nutrition Santé Longévité à Lille,
- les « Rendez-vous Carnot » organisés chaque année par l'Association des instituts Carnot,
- les « Journées Techniques de l'Industrie Céréalière »,
- le « Salon International de l'Agroalimentaire ».



Autant d'évènements permettant de rencontrer des partenaires industriels potentiels. Qualiment® a ainsi participé à une **centaine de rendez-vous d'affaires** en 2011 et 2012. Invité régulier de la commission nutrition santé du pôle de compétitivité Valorial, Qualiment® a également présenté ses activités à plusieurs reprises aux adhérents de ce pôle.

Succès de la première édition des Rencontres de l'institut Carnot Qualiment® organisée le 27 septembre 2012 à Clermont-Ferrand

95% de
 satisfaction des
 entreprises



Avec plus de 120 participants, ce rendez-vous entre chercheurs de l'institut Carnot Qualiment® et industriels a été l'occasion de présenter l'offre d'accompagnement R&D de Qualiment® en réponse aux besoins d'innovation dans le domaine de l'alimentation. Des conférences plénières en alternance avec des tables rondes ont permis aux participants de s'informer sur les thématiques de recherche développées au sein de l'institut Carnot Qualiment®. Dans l'optique d'amorcer des collaborations, d'affiner un échange sur un sujet d'intérêt commun, ou encore d'approfondir une idée de projet, les participants ont eu la possibilité de programmer tout au long de cette journée des rendez-vous individuels qui ont eu lieu dans des espaces réservés. Fort de ce succès, l'institut Carnot Qualiment® organisera une deuxième édition de ces Rencontres à Nantes en février 2014.

Participation à l'Association des instituts Carnot et échanges de bonnes pratiques fructueux

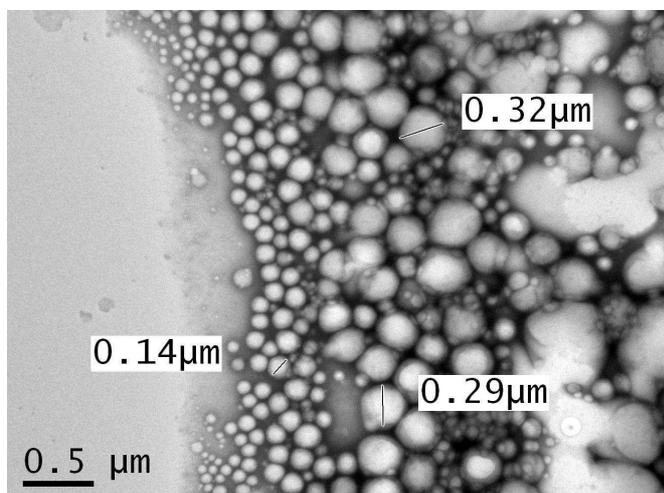
Qualiment® participe activement à l'Association des instituts Carnot, notamment en partageant son expérience, à travers des présentations, sur la mise en place de la stratégie de recherche propre aux instituts Carnot ainsi que sur son organisation pour répondre aux objectifs visés par le label.

Au-delà de la participation à ces réunions, les membres de l'institut Carnot Qualiment® échangent en permanence avec de nombreux instituts Carnot sur leurs bonnes pratiques et leurs retours d'expérience pour la mise en œuvre de la démarche qualité et des actions de communication.

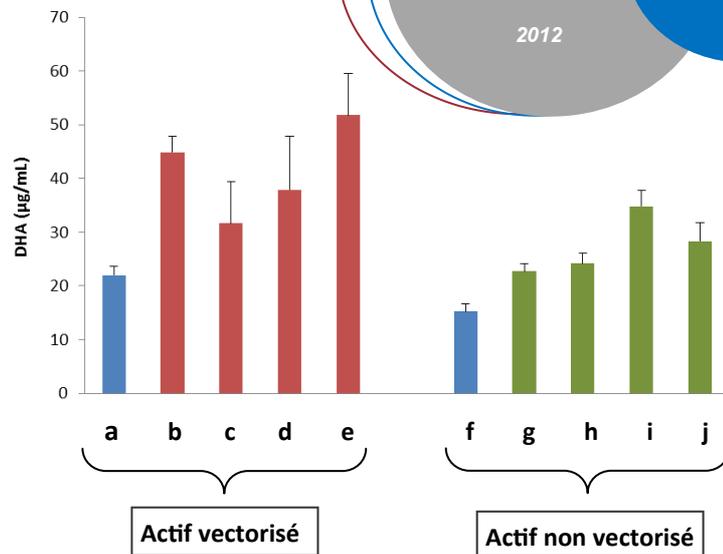
Focus sur un brevet Qualiment® déposé en 2012

Dans le cadre des programmes stratégiques de l'institut Carnot Qualiment®, les équipes de Nantes, Dijon et Clermont-Ferrand ont mis au point un nouveau système de protection d'ingrédients sous forme d'émulsion sèche. Ce procédé breveté, protège efficacement les actifs lipophiles.

Une preuve de concept *in vivo* a été obtenue en utilisant comme ingrédient modèle l'acide docosahexaénoïque (DHA), qui est largement utilisé en alimentation humaine, et dont l'intérêt a été validé par le parlement européen via l'acceptation d'allégations santé portant sur la prévention de pathologies liées au vieillissement telles que le syndrome métabolique, la DMLA, l'ostéoporose et la santé cardio-vasculaire.



►Figure 2 : Taille moyenne des gouttelettes (µm) pour une émulsion huile/eau en poudre reconstituée dans l'eau



►Figure 1 : Taux plasmatique de DHA (µg/mL) de mini-porcs supplémentés avec les actifs encapsulés (a à e) en comparaison d'actifs non encapsulés (f à j) ; 641mg de DHA par jour et 5,4mg de lutéine par jour.

Valeur mesurée : a) à jeun au 1^{er} jour de la période de supplémentation, b) à jeun après 1 mois de supplémentation, c) à jeun après 2 mois de supplémentation, d) à jeun après 3 mois de supplémentation, e) en phase postprandiale 3 h après le repas, après 3 mois de supplémentation, f) à jeun au 1^{er} jour de la période de supplémentation, g) à jeun après 1 mois de supplémentation, h) à jeun après 2 mois de supplémentation, i) à jeun après 3 mois de supplémentation, j) en phase postprandiale 3 h après le repas, après 3 mois de supplémentation.

Cette technologie de vectorisation d'actifs lipophiles permet d'améliorer leur biodisponibilité d'au moins 150%

par rapport aux mêmes actifs lipophiles ingérés sans vectorisation.

Par ailleurs, contrairement à d'autres technologies similaires, ce procédé garantit la stabilité physico-chimique du vecteur en plus de celle de l'actif lipophile.

Applications industrielles :

- Ingrédients
- Agro-alimentaire
- Pharmaceutique
- Cosmétique
- Agronomie

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

460

personnels de
recherche

220

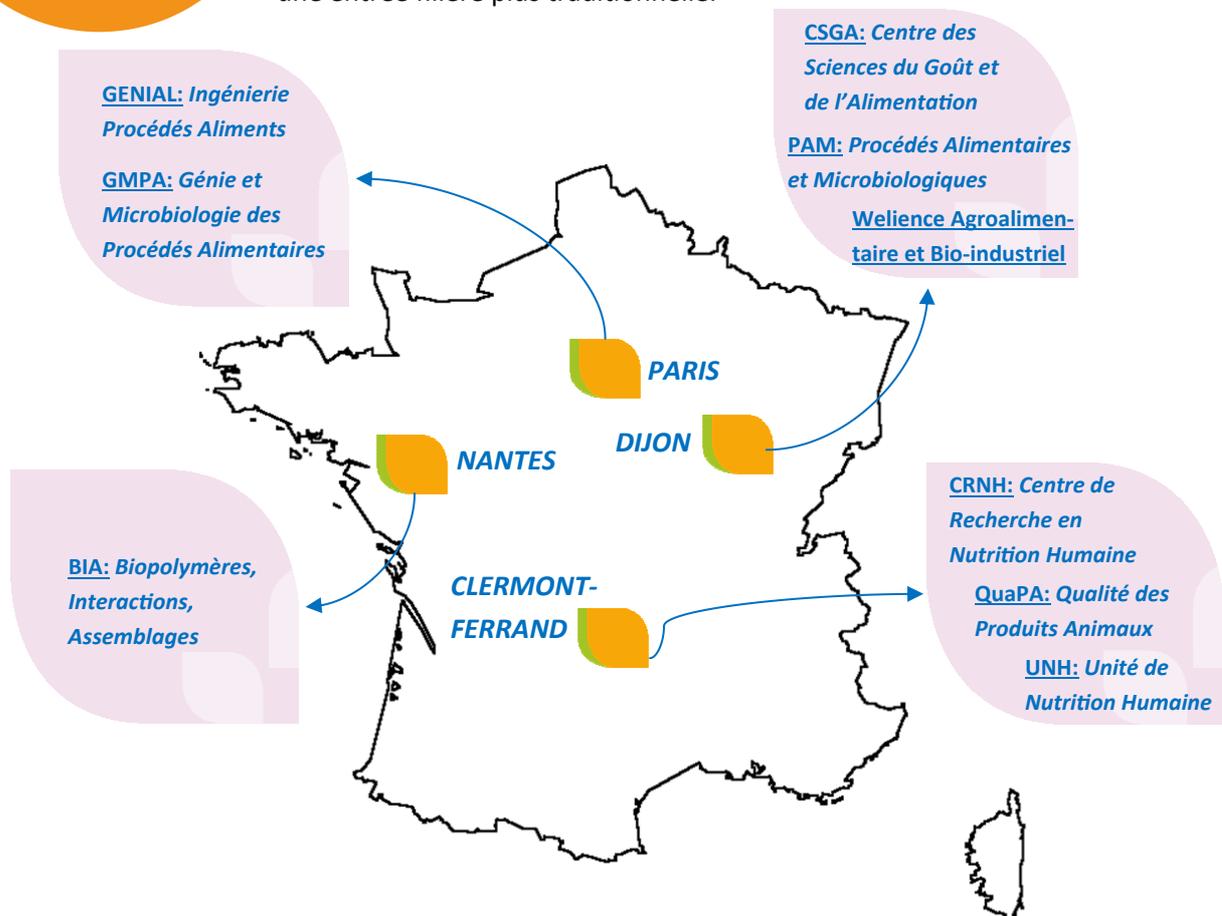
Doctorants et
post-doctorants

450

publications
scientifiques de
rang A

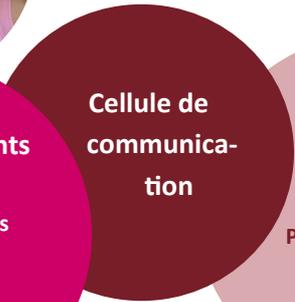
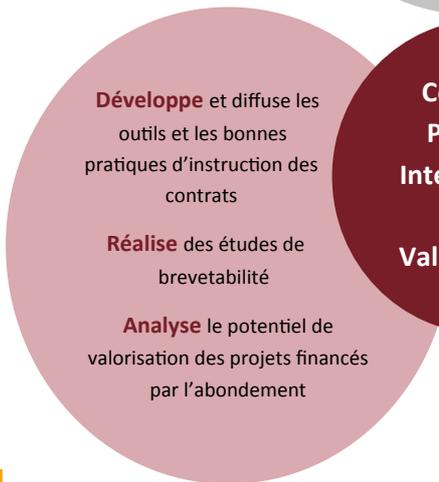
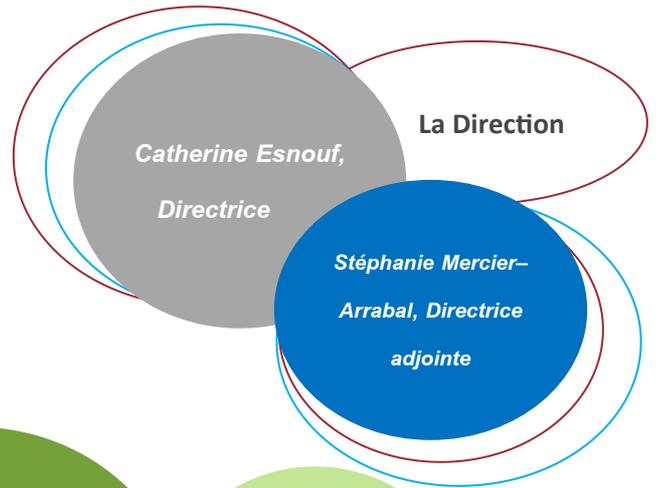
L'institut Carnot Qualiment® est constitué de **7 unités de recherche** (BIA, CSGA, GENIAL, GMPA, PAM, QuaPA, UNH), d'**1 GIP** (CRNH d'Auvergne) et d'**1 CRT** (Welience). Ces structures sont réparties sur 4 sites géographiques (Paris, Nantes, Dijon et Clermont-Ferrand). Ainsi la couverture géographique nationale de Qualiment® constitue un avantage important permettant d'irriguer les territoires et d'établir des liens de proximité avec les entreprises, notamment les PME.

Au plan national, Qualiment® est aujourd'hui le seul institut Carnot entièrement dédié à la recherche sur la qualité des aliments. De plus, Qualiment® a renforcé son partenariat avec l'unité « Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale » et les centres techniques CTCPA et ADIV dont les compétences répondent bien à la thématique de Qualiment® et qui permettent aux industriels d'avoir accès aux laboratoires de Qualiment® par une entrée filière plus traditionnelle.



Gouvernance

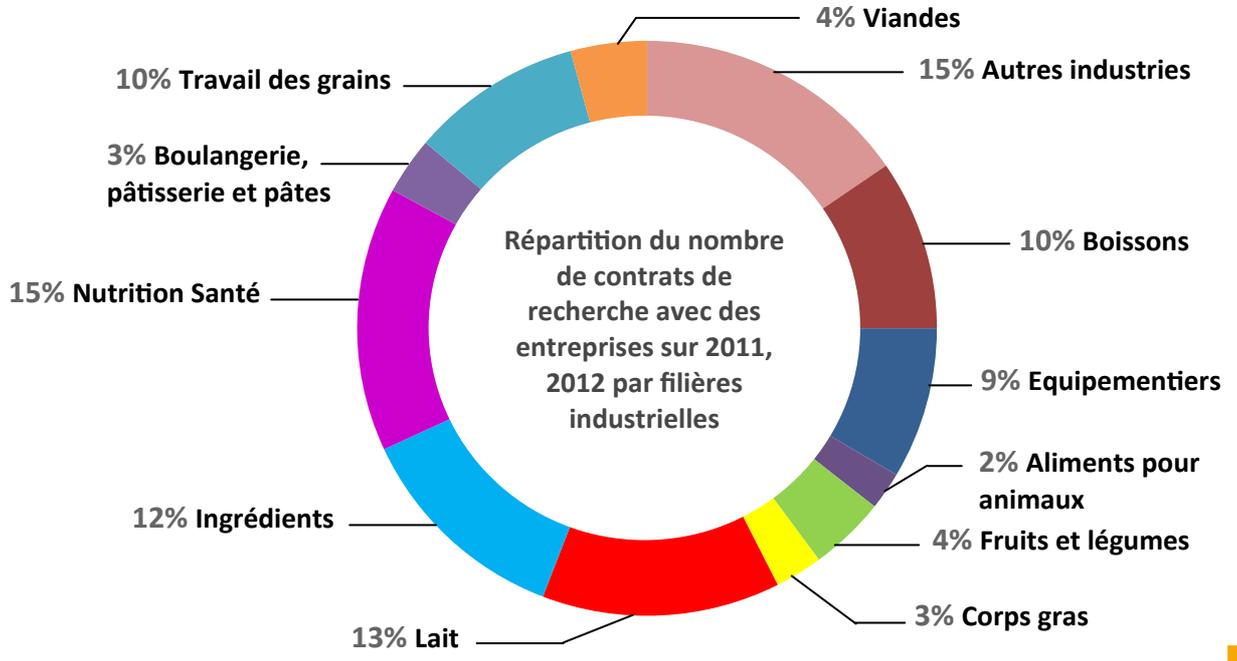
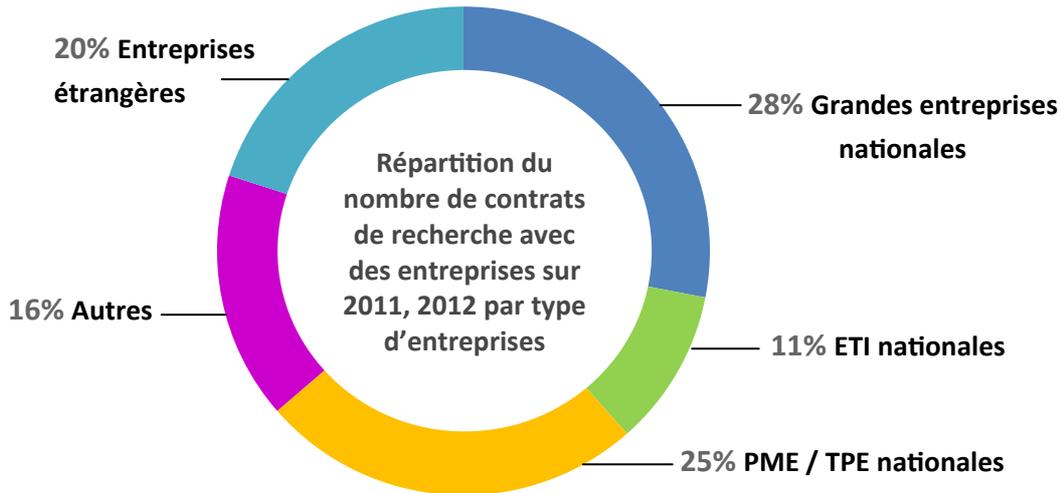
La gouvernance de l'institut Carnot Qualiment® est assurée par la direction, le comité de pilotage et la cellule de gestion. Ces trois entités s'appuient sur les correspondants d'unités, un conseil scientifique, un conseil d'orientation stratégique, un comité de propriété intellectuelle et de valorisation et une cellule de communication.



Qualité de la relation partenariale

Qualiment® a mis l'accent sur l'amélioration de ses pratiques d'instruction des contrats de recherche : Qualiment® s'engage à apporter une réponse à l'ensemble des sollicitations des partenaires industriels et à leur proposer la meilleure offre. Notamment, si Qualiment® n'a pas l'expertise en interne ou s'il n'est pas en mesure de traiter la demande dans un délai raisonnable, il redirige les industriels vers les laboratoires publics compétents pour traiter le sujet.

Depuis sa labellisation, Qualiment® travaille à l'obtention d'une certification iso 9001 de ses pratiques de contractualisation avec les partenaires industriels. L'obtention de cette certification est visée pour 2014.



Institut Carnot, un label d'excellence

Qualiment® fait partie du réseau des instituts Carnot depuis mai 2011, date à laquelle il a été labellisé pour son excellence scientifique et son professionnalisme.

La vocation des instituts Carnot est de rapprocher la recherche publique du monde économique pour répondre aux besoins d'innovation des entreprises afin de contribuer à dynamiser leurs activités et de soutenir leur compétitivité.

Le label « institut Carnot » est attribué pour cinq ans renouvelables à des structures de recherche publique.

Les instituts Carnot mènent simultanément des activités de recherche amont, propres à renouveler leurs compétences scientifiques et technologiques, et une politique volontariste en matière de recherche partenariale au profit du monde socio-économique, avec 19000 professionnels de la recherche (ETP) organisés en réseau.

Le réseau des instituts Carnot a mis en œuvre une approche commune pour une recherche d'excellence au service de l'innovation :

- Recherche pour les entreprises (des PME aux grands groupes), transfert de technologie et partenariat

entre laboratoires de recherche publique et partenaires socio-économiques,

- Anticipation des besoins sociétaux de demain et des besoins des marchés, basée sur la prospective scientifique et technique et la relation avec les entreprises,
- Professionnalisme de la relation contractuelle avec la satisfaction des clients au cœur de la relation partenariale et le respect de standards Carnot (charte PI, estimation des coûts, contractualisation...).

Chiffres clés

34 instituts Carnot

15 % des effectifs de la recherche publique

50 % de la recherche partenariale

Plus de 17 000 publications de rang A

880 brevets prioritaires déposés par an

<http://www.instituts-carnot.eu>



Des axes stratégiques de recherche pour une approche transversale de l'alimentation



L'institut Carnot Qualiment® a construit sa stratégie de recherche pour qu'elle permette de lever des verrous scientifiques et industriels.

Cette stratégie s'articule autour de sept axes :

- **Optimisation du sel – sucre – gras dans les aliments pour allier recommandations nutritionnelles et acceptabilité par le consommateur**
- **Perception sensorielle et comportement du consommateur, utilisation de nouveaux outils par l'industrie**
- **Origine et qualité des protéines dans l'alimentation : protéines végétales et/ou animales**
- **Construction des aliments pour des produits plus attractifs, plus sains et plus efficaces**
- **Optimisation des méthodes de conservation et de stabilisation des ingrédients et agents technologiques d'origine biologique et préservation de leurs fonctionnalités**
- **Ecoconception : optimisation de la consommation d'énergie, d'eau et de l'utilisation des matières premières**
- **Nouvelles approches pour l'aide à la conception et au pilotage des processus d'élaboration des aliments**

Optimisation du sel - sucre - gras dans les aliments pour allier recommandations nutritionnelles et acceptabilité par le consommateur



Objectifs

Le sel, le sucre et les matières grasses qui entrent dans la composition des aliments peuvent contribuer au développement de pathologies si leur consommation est excessive (hypertension, risques cardiovasculaires, diabète, obésité...). Aussi, les pouvoirs publics recommandent une diminution conséquente de leur consommation (Programme National Nutrition Santé, Plan obésité, Plan National pour l'Alimentation).

Les industriels sont ainsi amenés à reformuler leurs produits pour réduire les teneurs en sel, en sucre et en matières grasses (y compris la modification de la nature de la matière grasse) tout en maintenant une bonne acceptabilité pour le consommateur.

Depuis plusieurs années les équipes constitutives de l'institut Carnot Qualiment® ont mené des études sur ce thème, néanmoins les résultats obtenus sont souvent limités soit à l'étude d'un des ingrédients (sel, sucre ou matière grasse), soit à un domaine scientifique (nutrition, technologie, sécurité sanitaire, perception sensorielle, acceptabilité par le consommateur...). Il est maintenant nécessaire de mener des études intégrées pluridisciplinaires.

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 hors partenariat sur des aspects fondamentaux restant à approfondir **pour lever les verrous existants**.

Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Reformulation de produits à partir des recommandations nutritionnelles**

- Diminution des quantités de sel, de sucre et de gras
- Optimisation de la qualité nutritionnelle de la matière grasse
- Prise en compte de la nature et de la structure de la matière grasse et de l'ajout d'agent de texture
- Prise en compte des problèmes sanitaires générés par la diminution des teneurs en sel et en sucre



- **Acceptabilité des aliments par les consommateurs**
- **Etude de la diffusion du sel/sucre dans les aliments et de son transfert vers la salive**

→ Influence de la structure de l'aliment et la composition dans les autres ingrédients

- **Interactions arômes/matrice**

→ Modification des propriétés de rétention/libération des molécules de la saveur

→ Interactions entre macro- et micronutriments et vectorisation

→ Stratégies de reformulation en prenant en compte les qualités

nutritionnelles et l'acceptabilité par les consommateurs

- **Interactions entre les modalités sensorielles arôme, saveur, texture**

→ Stratégies de compensation (sel/arôme, sucre/arôme)

- **Effets santé**

- Nouvelles formulations
- Optimisation des effets sur l'impact métabolique (muscle squelettique, os, cartilage, cardiovasculaire, surpoids...)



Perception sensorielle et comportement du consommateur, utilisation de nouveaux outils par l'industrie

Objectifs

Dans un objectif de santé publique, mais aussi pour appuyer la conception raisonnée d'aliments, il est fondamental d'identifier comment les caractéristiques objectives des produits, et en particulier les caractéristiques sensorielles, sont perçues par les consommateurs et quels sont les mécanismes qui conduisent les consommateurs à rechercher ou à rejeter certains produits en raison de leurs caractéristiques sensorielles.

Dans cet axe, Qualiment® s'intéresse aux différences interindividuelles de perception sensorielle et au lien entre perception sensorielle et comportement alimentaire. Il s'agit également d'étudier les facteurs et les mécanismes à l'origine de ces différences interindividuelles.

Une partie de ces différences peut trouver son origine au niveau périphérique (polymorphisme génétique). Toutefois, les préférences sensorielles et alimentaires dépendent largement des expériences sensorielles et alimentaires. Elles dépendent également du contexte physiologique et psycho-affectif dans lequel ont lieu ces expériences et de leurs conséquences post-ingestives. Ceci a pour conséquence **d'importantes différences interindividuelles et des évolutions au cours de la vie** et en particulier au cours de l'enfance.



Les résultats des travaux effectués par Qualiment® permettent de fournir des connaissances pour **concevoir de manière rationnelle des aliments satisfaisant différents profils de consommateurs** tout en permettant à tous d'avoir un **régime alimentaire sain**. La meilleure compréhension du développement et de la dynamique des préférences et des comportements alimentaires est également utile en termes de politique publique, en particulier au niveau de l'établissement de recommandations visant à favoriser la consommation de certains groupes d'aliments ou visant à limiter la consommation de certains nutriments.



Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Etude des préférences alimentaires, de leur formation dès l'enfance et de leur évolution en fonction de facteurs internes et externes**
- **Optimisation de nouveaux aliments**
 - Goût
 - Bénéfice santé
 - Pouvoir satiétogène
- **Développement de nouveaux outils et de nouvelles méthodes pour l'acquisition et le traitement des données sensorielles**
 - Construction de bases de données
 - Méta-analyse
 - Développement de méthodes statistiques dédiées aux spécificités des données sensorielles



Origine et qualité des protéines dans l'alimentation : protéines végétales et/ou animales



Objectifs

Les protéines végétales représentent 65 à 70 % des apports en protéines pour l'alimentation humaine au niveau mondial. On trouve parmi les protéines consommées une vingtaine d'espèces végétales principales incluant les céréales, les légumes et légumineuses, les racines et tubercules et les fruits. La valeur nutritionnelle des protéines végétales en alimentation humaine correspond d'abord à leur aptitude à assurer l'approvisionnement de l'organisme en acides aminés pour répondre aux besoins de croissance ou de renouvellement des protéines corporelles. Dans les régions économiquement les plus développées, les individus consomment de l'ordre de 100 à 120 g de protéines par jour, dont 35 % proviennent des protéines végétales. La production et l'origine des protéines pour l'alimentation des populations pourraient devenir des questions majeures dans les décennies à venir pour l'ensemble du monde du fait de l'augmentation de la population de la planète.

Ces enjeux nécessitent d'évaluer la qualité des différents types de protéines pour satisfaire les besoins de l'Homme.

L'aptitude d'une protéine alimentaire à assurer les

besoins de l'organisme se décompose en deux étapes. La première est la **biodisponibilité de la protéine**, c'est-à-dire la proportion d'acides aminés qui, après digestion et absorption, devient accessible aux phénomènes métaboliques. La seconde est **l'efficacité avec laquelle les acides aminés ainsi mis à disposition sont utilisés** pour répondre aux besoins spécifiques de l'organisme.

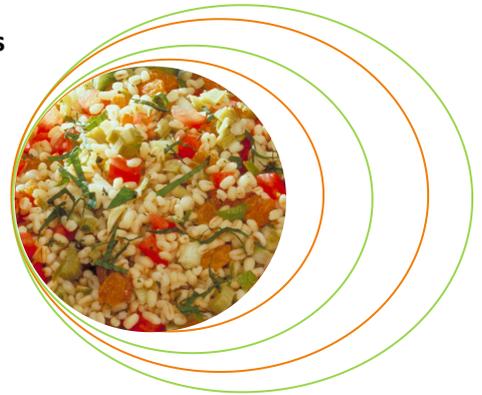
Les protéines, qu'elles soient d'origine végétale ou animale, ont également très souvent un **rôle fonctionnel** essentiel pour conférer à un aliment sa **texture** et ses **propriétés organoleptiques**.

Ainsi, les protéines végétales se caractérisent par une très grande diversité de structures et de propriétés physicochimiques selon leur origine botanique et leur fonction physiologique dans la plante. Cette diversité se traduit par des différences importantes de propriétés au niveau de l'aliment. Des efforts significatifs de recherche sont en cours dans le domaine alimentaire, d'une part, pour mieux cerner les bases physicochimiques des propriétés des différentes familles de protéines végétales et tenter de **maîtriser l'effet des traitements technologiques sur ces propriétés**, d'autre part, pour mieux **adapter ces protéines aux utilisations potentielles** à l'aide de modifications chimiques ou enzymatiques.

Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Digestibilité et biodisponibilité des protéines de différentes sources**

- Utilisation de modèles animaux
- Etudes chez l'homme sain ou malade
- Cinétique d'absorption et chrono-nutrition des protéines de source végétale
- Etude de l'interaction entre les micronutriments et les protéines des aliments végétaux sur la biodisponibilité des acides aminés



- **Qualité nutritionnelle des apports protéiques d'origine végétale et/ou animale**

- Etude de l'effet métabolique des protéines végétales grâce à des modèles d'étude particuliers (*in vitro* et *in vivo*) et au cours de situations physiopathologiques conduisant à une modification des besoins et/ou des apports (vieillesse)
- Comparaison avec les protéines animales de référence (œuf, lait, viande)
- Nouveaux procédés industriels (fermentation, hydrolyse...) pouvant améliorer les qualités nutritionnelles des aliments végétaux
- Etude de l'effet matrice en tant que vecteur d'autres nutriments issus de sources végétales, en particulier les micronutriments



- **Effets allergènes des protéines végétales versus protéines animales**

- **Qualités organoleptiques**

- Acceptation des sources protéiques végétales par les consommateurs
- Nouveaux procédés industriels (fermentation, hydrolyse...) pouvant améliorer les qualités organoleptiques des aliments végétaux

- **Fonctionnalités des protéines végétales**

- Stratégies d'extraction / purification de protéines végétales majeures
- Interactions entre protéines pour la conception d'assemblages fonctionnels
- Criblage des fonctionnalités : interfaces, émulsions, mousses, gels, biomatériaux

Construction des aliments pour des produits plus attractifs, plus sains et plus efficaces

Objectifs

Les aliments formulés constituent des matrices complexes qui sont le résultat d'interactions entre les ingrédients et les procédés de transformation. Les différentes échelles de structure (de la nano-structure des molécules à la macro-structure de l'aliment) apportent les propriétés d'usages et les fonctionnalités désirées par le formulateur (texture, goûts, saveurs...) mais modulent également la cascade de réactions physiologiques et biochimiques se produisant au cours du processus digestif de la mastication, de l'absorption intestinale jusqu'à l'impact sur le tissu cible.

D'une part, les équipes de recherche spécialisées en sciences de l'aliment se sont traditionnellement attachées à la compréhension des mécanismes de mise en place des matrices alimentaires sans prendre en compte leur devenir durant leur utilisation. D'autre part les équipes de nutritionnistes, biologistes et physiologistes ont étudié la biodisponibilité, les effets cellulaires et métaboliques des nutriments et micronutriments en ne considérant que la composition de l'aliment. Ainsi il convient d'engager une démarche forte de compréhension des relations entre les différentes structures des matrices formulées complexes et leurs effets nutritionnels, physiologiques et biologiques.

Les nouveaux outils d'exploration multi-échelles et d'analyse à haut débit, permettent de revisiter cette thématique.

Il s'agit dans cette démarche de prendre en compte la complexité des systèmes par des **approches systémiques de modélisation**, d'évaluer le **rapport bénéfiques / risques** associé à un **couple composition / structure**, et par une **démarche de ré-ingénierie**, d'**obtenir les leviers pour reconstruire des structures adaptées à ces enjeux**.

Les axes majeurs de cette thématique sont :

- de **comprendre et modéliser le rôle de la structure de l'aliment** sur les dynamiques de formation du bol alimentaire, de libération des stimuli sensoriels et de bioaccessibilité des nutriments, en milieu digestif simulé ;
- de **comprendre et de modéliser les dynamiques de modifications structurales**, chimiques et physiologiques (bioaccessibilité) des matrices alimentaires et de leurs constituants dans un tractus gastro-intestinal simulé ;
- de **relier les structures** (moléculaires, supramoléculaires, microscopiques, macroscopiques) des **matrices alimentaires aux dynamiques et à la réactivité des biomolécules** au cours des itinéraires technologiques des aliments ;
- de **valider l'impact nutritionnel et santé** de ces structures sur des modèles cellulaires et animaux ;
- de contribuer à la validation scientifique pour les **dossiers de demande d'allégation nutritionnelle** et de santé ;
- d'**adapter les procédés de reconstruction des matrices** dans une démarche d'**rétro-ingénierie** avec une approche de **durabilité et d'écoconception**.

Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- Etude de la possibilité de hiérarchiser les leviers de conception des aliments afin d'optimiser la biodisponibilité d'un nutriment pour une cible nutritionnelle prédéfinie
- Etude de la conception d'assemblages de biomolécules à propriétés stimulables pour une protection et une libération des nutriments ciblée et/ou améliorée
- Etude de la possibilité d'identifier des biomarqueurs de bioaccessibilité, de réactivité, d'allergie et de satiété (détermination quantitative par approche lipidomique et protéomique)
- Etude du lien entre les études de digestion *in vitro* (statiques ou dynamiques) et les études *in vivo* sur cultures cellulaires ou sur mini-porcs
- Etude de la possibilité de relier les bases de données obtenues sur animal avec la nutrition clinique humaine



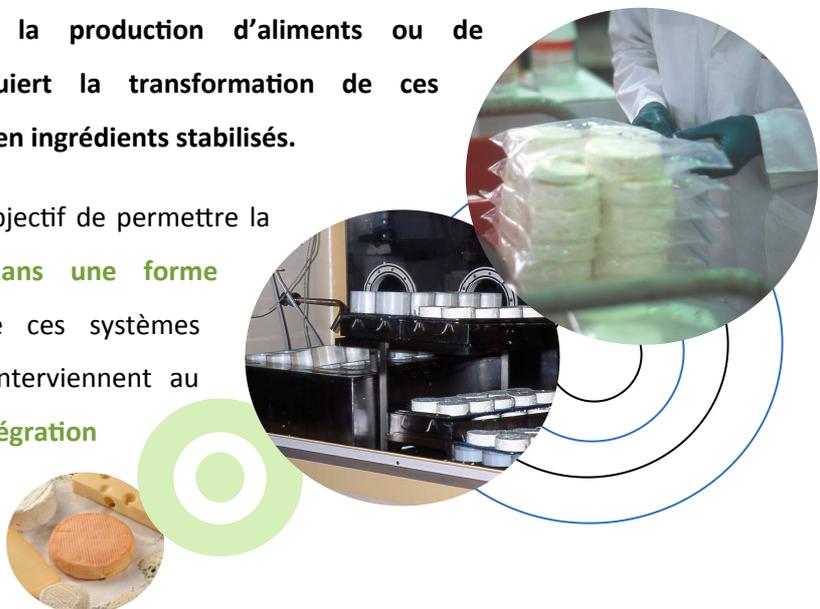
Optimisation des méthodes de conservation et de stabilisation des ingrédients et agents technologiques d'origine biologique et préservation de leurs fonctionnalités

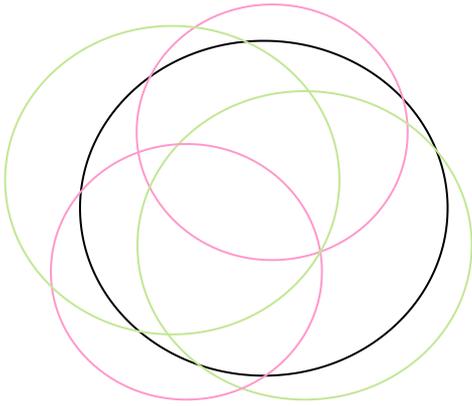


Objectifs

L'utilisation croissante de molécules d'origine naturelle (anti-oxydants, arômes, colorants, polysaccharides non-digestibles, oligosaccharides de type prébiotique) et de microorganismes (ferments, probiotiques) dans la production d'aliments ou de compléments alimentaires requiert la transformation de ces structures complexes et instables en ingrédients stabilisés.

La stabilisation a pour principal objectif de permettre la **conservation à long terme dans une forme réactivable et fonctionnelle** de ces systèmes jusqu'à leur utilisation, qu'elle intervienne au moment même de leur **intégration pendant la production** des aliments ou lors de l'**ingestion** des produits alimentaires.





Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Amélioration de l'efficacité de la préservation fonctionnelle par de nouvelles stratégies**

- Caractérisation des fonctionnalités de l'agent technologique
- Encapsulation des biopolymères
- Formulation
- Adaptation de l'agent technologique afin d'améliorer sa résistance aux procédés de stabilisation
- Etude de la digestion (pour tester le maintien de la fonctionnalité de systèmes stabilisés destinés à l'ingestion)



- **Diminution des coûts énergétiques et augmentation de la capacité de production**

- Ingénierie des procédés



- **Rationalisation des stratégies à partir de connaissances fondamentales**

- Modélisation
- Microbiologie
- Biochimie
- Immunologie

Ecoconception : optimisation de la consommation d'énergie, d'eau et de l'utilisation des matières premières



Objectifs

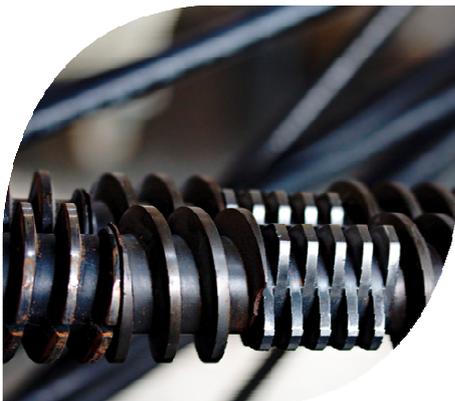
L'écoconception des processus de transformation alimentaire vise globalement à minimiser les impacts énergétiques, environnementaux et économiques des différentes opérations mises en œuvre et de leur agencement. Elle concerne également l'optimisation de l'utilisation des sources de matières premières et de leur variabilité, la valorisation des co-produits et la réduction des pertes.

Elle se situe plus largement dans une logique de développement de **systèmes alimentaires durables** (limitation des pertes, faible impact environnemental, préservation de la biodiversité, accessibilité et équité socio-économique, équilibre nutritionnel et sûreté sanitaire, qualité de vie et santé à terme).

Elle concerne ainsi à la fois la valorisation **des bio-ressources**, la **réduction des intrants (énergie et matières)** et **des rejets** et vise à **l'optimisation des stratégies de transformation et d'utilisation des ressources**, du niveau industriel jusqu'aux opérations mises en œuvre chez l'utilisateur en restauration hors foyer ou au niveau domestique.

Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Optimisation de l'efficacité énergétique des procédés de transformation pour une opération de transformation ou une combinaison de plusieurs de ces opérations afin d'en revoir la conception, d'en optimiser la conduite et le cas échéant de proposer des itinéraires technologiques mieux éco conçus**
 - Intégration des effets sur les caractéristiques de qualité du produit
 - Utilisation de démonstrateurs à l'échelle pilote pour tester l'impact au niveau énergétique et au niveau des caractéristiques du produit
- **Maîtrise de l'eau dans les procédés de transformation**
 - Réduction de la consommation d'eau dans les procédés ou les étapes de traitements particulièrement aquavores comme les opérations de lavage, nettoyage, etc.
 - Optimisation des opérations et itinéraires technologiques des traitements visant à apporter ou extraire de l'eau, en particulier les opérations de concentration et de séchage et la combinaison des technologies mises en œuvre
 - Optimisation du traitement d'extraction / récupération d'actifs et traitement des effluents
- **Matières premières et produits**
 - Valorisation de sources de matières premières nouvelles, optimisation de la valorisation totale d'une ressource, identification de fonctionnalités nouvelles
 - Optimisation de l'utilisation des co-produits
 - Utilisation de nouveaux emballages biosourcés et biodégradables
 - Optimisation du couple produit/emballage intégrant les aspects procédés, conservation et usage



- **Outils et méthodes**
 - Mise en œuvre des outils / méthodes permettant les bilans énergétiques, le recueil et d'intégration des données pour l'analyse et l'optimisation des procédés de transformation jusqu'à l'usage des produits

Nouvelles approches pour l'aide à la conception et au pilotage des processus d'élaboration des aliments



Objectifs

Les compétences des unités impliquées dans l'institut Carnot Qualiment® en termes de formalisation et d'intégration des connaissances et de modélisation des systèmes complexes permettent de proposer aux industriels des démarches d'ingénierie pour optimiser les produits et/ou les procédés existants, voire définir de nouvelles trajectoires technologiques en rapport avec les objectifs industriels identifiés. L'utilisation des compétences disponibles dans différents projets, en cours ou terminés, a permis de montrer l'intérêt de ces approches pour différentes applications.

En termes de méthodes et d'outils, l'expertise des équipes des unités de l'institut Carnot Qualiment® concernent :

- le développement de modèles de mesure indirecte, de modèles déterministes, de modèles probabilistes, de modèles stochastiques ;

- le couplage de modèles et des connaissances ;
- l'élicitation, la formalisation, l'intégration des connaissances expertes et la prise en compte de l'incomplétude et de l'imprécision de la connaissance.

Ces approches et méthodes sont utilisées comme outils pour proposer des **approches innovantes de modélisation et d'analyse des systèmes** d'intérêt afin de donner la capacité à **prédire, contrôler et/ou proposer des innovations** sur les objets de recherche / d'application concernés.

Les finalités en termes de recherche sont le développement de concepts, méthodes et outils pour la modélisation et l'analyse de systèmes biologiques et alimentaires complexes. En terme d'intérêt industriel, ces approches peuvent aboutir au développement d'**outils d'aide au pilotage ou à la décision** et/ou à la mise en place de **livres électroniques** représentant les connaissances disponibles.

Exemples de thèmes de recherche proposés en partenariat

- **Déconstruction de l'aliment par l'homme et modélisation des cinétiques associées : des propriétés sensorielles aux propriétés nutritionnelles**
 - Compréhension des mécanismes de dégradation des aliments en bouche et dans la partie haute du tube digestif et prédiction des cinétiques de ces dégradations
 - Modélisation mécanistique des cinétiques de libération des composés cibles : stimuli sensoriels et nutriments
 - Développement d'outils d'aide à la conception raisonnée d'aliments répondant à des critères nutritionnels et sensoriels
 - Modélisation de l'effet des procédés de fabrication sur la digestibilité des protéines
- **Utilisation des modèles pour améliorer la conduite de procédés ou générer des abaques**
- **Rétro-ingénierie**
 - Définition des conditions de l'opération de pétrissage pour un comportement optimal de la pâte lors de la fermentation par mise en série de modèles énergétiques et phénoménologiques
- **Modélisation de systèmes complexes pour matériaux amylacés et pour les fruits charnus**
 - Modèles déterministes et multi-échelles des relations structures/propriétés des aliments
 - Modélisations rhéologique et énergétique de processus d'élaboration biologiques, technologiques
- **Recueil et pérennisation de savoir-faire**
 - Formalisation et représentation des connaissances par système d'équations déterministes, de modèles d'experts et de théories de l'incertain
 - Intégration des connaissances scientifiques et de celles issues de l'expertise sur le processus de panification selon deux approches concomitantes : modélisation qualitative de l'opération de pétrissage de la pâte de farine de blé et réalisation de livres électroniques pour l'assemblage de connaissances
- **Simulation/Prédiction de l'évolution des phénomènes qui prennent place en cours de fabrication pour aider à la décision :**
 - Intégration des connaissances par intégration de modèles, intégration de dires d'experts au sein du modèle, couplage des modèles, apprentissage supervisé ou non et travail sur l'incertitude
- **Prise en compte de différentes contraintes et objectifs dans une démarche d'écoconception ou éco-exploitation par une approche d'ingénierie inverse à savoir, quels sont les itinéraires technologiques optimaux :**
 - Etude de viabilité et robustesse par ingénierie inverse
 - Travail sur l'optimisation pour des systèmes biologiques complexes
 - Développement de modèles de mesure indirecte et logiciels et de modèles probabilistes bayésiens
 - Prise en compte de l'incomplétude et de l'imprécision de la connaissance

Plateformes technologiques

Le réseau Qualiment® dispose de 15 plateformes technologiques regroupées ici par thématiques :

- Plateformes sensorialité
- Plateformes de nutrition
- Plateforme d'études cliniques
- Halles de transposition industrielle
- Plateforme Biopolymères, Interactions, Biologie Structurale
- Plateau de rhéologie des matériaux biologiques
- Plateforme d'imagerie spectroscopique et de résonance magnétique

Domaines	Plateformes	Compétences
<i>SENSORIALITE : Analyse sensorielle, physico-chimie, biologie des comportements</i>	CHEMOSENS	<ul style="list-style-type: none"> • Identification, quantification et analyse structurale des arômes et des lipides • Etude des interactions/diffusion des molécules d'arômes au sein des aliments et suivi des molécules de la flaveur (arômes et sapides) lors de la mastication des aliments
<i>NUTRITION : Métabolomique, protéomique, transcriptomique</i>	Exploration fonctionnelle du métabolisme	Etudes avec outils de spectrométrie de masse
<i>NUTRITION : Etudes pré-cliniques in vivo</i>	Animalerie	Etudes sur rongeurs et mini-porcs
<i>NUTRITION : Mastication, digestion</i>	Masticateurs et digesteur dynamique gastro-intestinal	Suivi et étude de la déstructuration des aliments
<i>ETUDES SUR VOLONTAIRES</i>	Chambres calorimétriques	Mesure de la dépense énergétique et de la composition corporelle
<i>ETUDES SUR VOLONTAIRES</i>	Unité d'Exploration Nutritionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de traceurs notamment les acides aminés marqués par des isotopes stables • Techniques de clamps insuliniques • Biopsies tissulaires • Ostéodensitométrie • Enquêtes alimentaires
<i>PROCEDES : texturation des aliments, décontamination microbienne avec des technologies douces, sensorialité, fermentations liquide et solide, lyophilisation</i>	Halles de transposition industrielle et de conception de pilotes	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de dispositifs expérimentaux pilotes et réalisation d'essais expérimentaux • Réalisation d'études de faisabilité, mise au point, fabrication et caractérisation de produits, dimensionnement d'équipements





Domaines	Plateformes	Compétences
STRUCTURE	Résonance Magnétique	Développements méthodologiques et moyens matériels bénéficiant des dernières avancées technologiques pour fédérer les approches en Résonance Magnétique Nucléaire appliquées aux systèmes biologiques
STRUCTURE : caractérisation structurale et localisation de biopolymères	BIBS	<ul style="list-style-type: none"> • Identification / Structure des biopolymères (protéines, polysaccharides, lipides) • Variabilité structurale des biopolymères dans des collections d'échantillons • Localisation tissulaire, cellulaire et subcellulaire de biopolymères • Caractérisation des interactions moléculaires • Mobilité/diffusion <i>in situ</i> de solutés • Propriétés d'hydratation de systèmes composites ou formulés, alimentaires ou non-alimentaires • Suivi d'activités de dégradation ou de transformation • Impact sur les structures moléculaires • Protéomique
STRUCTURE	Matériels de rhéologie	<ul style="list-style-type: none"> • Rhéologie des liquides • Rhéologie à régime dynamique pour les solides, pâtes, liquides et des gels • Mesure de texture • Machines d'essai-traction • Tensiométrie et rhéologie dilatationnelle interfaciales • Analyse thermique • Analyse granulométrique des milieux dispersés en voies sèche et humide • Détermination des isothermes de sorption (de 2 à 95%)
STRUCTURE	Imagerie spectroscopique	<ul style="list-style-type: none"> • Caractérisation de la dynamique membranaire de différents modèles cellulaires en fonction de perturbations physiques (pression, température, champs électriques) et chimiques • Signalisation cellulaire • Transferts de molécules d'intérêt aux interfaces



Exemples emblématiques de projets 2011—2012

Projets financés par l'abondement ANR versé à Qualiment®

Titre	Objectif	Unités impliquées
Ferrari : Transfert de technologie et validation sensorielle d'aliments contenant des nutriments vectorisés	<i>Mise au point du procédé pré-industriel de fabrication de vecteurs</i>	Welience, BIA, QuaPA
Modena : Approche intégrée de la déconstruction de matrices alimentaires modèles liquides et semi-liquides	<i>Mise au point d'outils d'aide à la décision de formulation pour les industriels et évaluation du bénéfice/risque des aliments</i>	BIA, GMPA, GENIAL, UNH, PAM
QualiGrasPhy : Déterminants de la variabilité interindividuelle de la perception du gras chez l'homme	<i>Comprendre les déterminants de la variabilité interindividuelle de la perception du gras chez l'Homme pour aider les industriels dans leurs stratégies de reformulation</i>	CSGA, GMPA, UNH, BIA, QuaPA, Welience
ProVeg : Optimisation de protéines d'origine végétale dans le maintien et la préservation du statut musculaire	<i>Optimisation de l'utilisation des protéines d'origine végétale dans le maintien et la préservation du statut musculaire</i>	UNH

Ces projets ont pour objectif *in fine* de générer des résultats qui soient transférables aux entreprises et génèrent des innovations

Ces quatre projets ont bénéficié d'un soutien financier de l'ANR représentant au total 970 k€

Quelques exemples de projets ANR dans lesquels les unités de recherche de Qualiment® sont impliquées

Nomac

La consommation d'**aliments céréaliers à faible index glycémique, riches en fibres et en micronutriments** est recommandée pour éviter la surcharge pondérale et l'obésité ainsi que les maladies chroniques qui en résultent. Le but de ce travail a été de fournir de nouvelles solutions pour des produits alimentaires à base de céréales : la connaissance et la compréhension de leur devenir *in vivo* ont été utilisées pour **définir des caractéristiques structurales permettant d'augmenter la valeur ajoutée des aliments**.

Spiceclean

Les épices et herbes aromatiques séchées sont produites principalement dans des pays au climat tropical. Le mode de production de ces matières premières est souvent traditionnel et ces produits sont soumis à de multiples voies de contamination. Outre la détermination de **l'efficacité décontaminante**, ce projet a intégré les **aspects de préservation de la qualité organoleptique et des propriétés fonctionnelles des produits traités**.

Epipref

Une surconsommation d'aliments gras, salés ou sucrés est nuisible à la santé, or les aliments gras, salés ou sucrés portent en eux une valeur hédonique souvent forte qui entre en conflit avec la raison de la nutrition. Il n'existait pas d'outil permettant de mesurer l'attirance hédonique intrinsèque que peut avoir un individu vis à vis de la sensation gustative de gras, de salé ou de sucré.

Le projet a permis la **mise au point d'un outil d'analyse sensorielle permettant le phénotypage des individus vis à vis de l'hédonicité du gras, du salé et du sucré**.

Aupalesens

Sans prise en charge, la dénutrition des seniors entraîne une diminution de la mobilité, un risque accru de chutes ou de fractures, une vulnérabilité vis-à-vis des maladies infectieuses et une aggravation des maladies chroniques.

L'objectif du programme était de tester l'efficacité de **stratégies « nutritionnelles »** (conseils nutritionnels, utilisation de compléments nutritionnels) **et « sensorielles » pour prévenir et lutter contre la dénutrition chez les seniors**. Le projet a démontré l'efficacité de **leviers sensoriels sur le plaisir associé au repas et la prise alimentaire**, contribuant ainsi au « bien-vieillir » de nos aînés.

NA -

L'objectif principal de ce projet était de **réduire le contenu en sel dans des produits carnés et particulièrement dans les jambons**. Le projet a permis de proposer à l'industrie de la viande un **outil de simulation efficace permettant de réduire la teneur en sel** dans les produits transformés et **d'assurer une meilleure homogénéité de la production** avec un coût permettant une compétitivité accrue pour les entreprises et des procédés moins consommateurs d'énergie et plus respectueux de l'environnement.



Agecaninox

Les recommandations en matière d'apport lipidique alimentaire portent notamment sur l'augmentation des apports en acides gras polyinsaturés (AGPI) **oméga 3** dans l'alimentation. Or, ces acides gras sont des **molécules très réactives** dont l'oxydation donne naissance à une multitude de produits.

Le projet a permis **de suivre certains marqueurs de l'oxydation des AGPI** depuis les matières premières jusqu'à la consommation des aliments en s'intéressant à leur devenir et leurs effets métaboliques *in vivo*. De plus, il a permis **de développer des vecteurs prévenant l'oxydation des AGPI** en s'assurant de l'acceptabilité sensorielle des aliments formulés.



Bisens

Ce projet concerne le processus de conception raisonnée de **biscuits fonctionnels** devant répondre à un cahier des charges complexe et multi-critères : **profil nutritionnel amélioré, comportement technologique et propriétés organoleptiques « acceptables » et bénéfice satiété validé**. Il a permis de développer une approche multidisciplinaire et intégrative afin de déterminer **l'impact des facteurs physiologiques et psychologiques sur les sensations de faim et la prise alimentaire**.



Braise

Le projet vise au développement **d'approches multi-énergies pour la cuisson** du pain ainsi qu'à la mise en place d'outils fiables **d'évaluation de leur efficacité énergétique**.

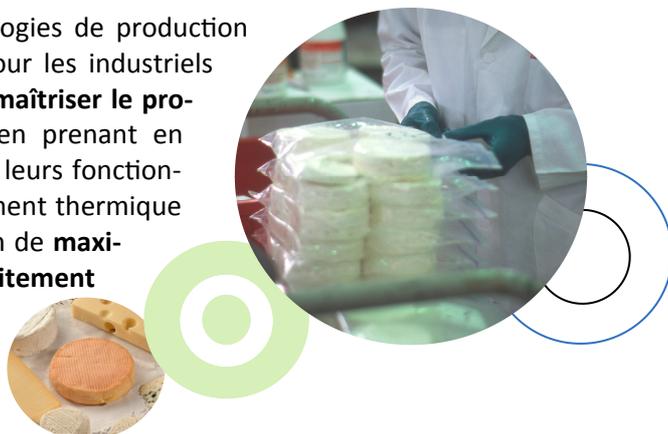
Quatre leviers d'action ont été identifiés pour **améliorer l'efficacité énergétique** : le temps de cuisson, l'amélioration des échanges en surface pour diminuer l'écart entre température du four et température du produit, l'inertie du four à travers le temps de préchauffage et un contrôle optimal du procédé. Le projet a permis de développer un **prototype industriel multi-énergie**.

Domínove

Ce projet a étudié les **réactions de dégradation thermique des lipides pendant le réchauffage domestique de produits industriels pré-frits**. Cette étude a été réalisée sur trois types de produits transformés dont les conditions de préparation industrielle incluent une étape de friture profonde. Ces produits sont soit à base de pommes de terre, soit panés à base de volaille et de fromage, soit asiatiques de type nems. Les **conditions optimales de réchauffage domestique ont été déterminées pour permettre l'amélioration des caractéristiques nutritionnelles** des produits finis ayant une qualité sensorielle satisfaisante.

Globule

La valorisation des sous produits issus des technologies de production des fromages a toujours été une préoccupation pour les industriels agroalimentaires fromagers. Ce projet a permis de **maîtriser le procédé de transformation des protéines sériques** en prenant en compte leur dénaturation ainsi que l'orientation de leurs fonctionnalités au travers du contrôle du procédé de traitement thermique et des conditions physicochimiques du procédé afin de **maximiser la concentration des protéines pendant le traitement et de réduire l'encrassement des équipements**.



Quelques exemples de projets européens dans lesquels les unités de Qualiment® sont impliquées

Dream

Le projet DREAM, initié en mai 2009 pour une durée de 4 ans, avait pour ambition d'élaborer des **modèles réels d'aliments** ainsi que des modèles informatiques utilisables par l'industrie agro-alimentaire et par la recherche, notamment en nutrition. Pour la recherche, l'objectif était de fournir des aliments standardisés et reproductibles afin de pouvoir prendre en compte **l'impact de leur structure et de leur composition sur les propriétés nutritionnelles**. Pour les professionnels de l'agro-alimentaire, l'objectif était de fournir un **outil d'aide à la décision lors de l'élaboration de nouvelles préparations alimentaires** qui répondent aux **recommandations nutritionnelles et aux exigences sanitaires**. Le projet a porté sur quatre catégories d'aliments: les fruits et légumes (tomate, chou, pomme), les viandes (porc, volaille), les produits laitiers (desserts lactés, fromages) et les produits céréaliers (pain, biscuit, corn-flakes).

Eurreca

En Europe, les recommandations en matière d'apport en micronutriments dans l'alimentation diffèrent considérablement d'un pays à l'autre, allant du simple au double. L'harmonisation et l'alignement des politiques de nutrition et des stratégies de santé publique constituent un objectif important à l'échelle européenne. Dans le cadre de cet effort d'harmonisation, EURRECA a été créé pour **identifier et formuler des méthodes destinées à standardiser la définition des valeurs nutritionnelles de référence pour les micronutriments, dans l'optique de formuler des recommandations nutritionnelles**.

EURRECA a développé un **guide en neuf étapes** qui énonce le processus idéal de **détermination des valeurs nutritionnelles de référence** (apports nutritionnels recommandés) de manière scientifique, transparente et systématisée.

Flaviola

Les flavanols sont un groupe de composés présents dans les fèves de cacao, les feuilles de thé et les raisins noirs. Beaucoup d'études suggèrent qu'un régime riche en flavanols peut avoir un **impact positif sur la santé cardiovasculaire**. Des études plus approfondies étaient nécessaires afin de comprendre comment le corps absorbe et métabolise les flavanols, quel est leur impact sur la fonction cardiovasculaire et quel régime permet d'ingérer des aliments riches en flavanols de manière optimale.

FLAVIOLA a ainsi permis le **développement de produits alimentaires innovants et naturels**.

Prosafebeef

Ce projet avait pour objectif de permettre à **l'industrie bovine** en Europe de prospérer, de se diversifier et de **produire des innovations sûres en terme sanitaire, de haute qualité** et correspondant aux **attentes des consommateurs**, en la rendant plus compétitive et en l'aidant dans le développement d'usines vertes. Ce projet a permis 1) de **développer et appliquer des modèles d'évaluation quantitative des risques** pour surveiller, tracer et réduire la contamination microbienne et chimique tout au long de la chaîne de production de viande bovine, 2) **d'établir de nouvelles stratégies de contrôle des agents pathogènes** microbiens à des moments clés de la chaîne de production de viande bovine afin d'optimiser la sécurité de la viande et des produits dérivés, 3) de **satisfaire la demande des consommateurs** de diversité des produits ainsi que de dynamiser et valoriser la chaîne de production de viande bovine en développant des produits et procédés innovants.

Renseignements sur le

site web **Qualiment**[®]

www.qualiment.fr



Contact

Pauline Souvignier

pauline.souvignier@paris.inra.fr

+33 (0) 1 42 75 93 31



**UNIVERSITE
D'Auvergne**
CLERMONT - FDI



Welience
Innovier, c'est notre métier