

Les filières céréales : goût, santé et sécurité les recherches de l'INRA

La France est le principal producteur européen de céréales, affichant un excédent commercial important. Les filières céréales sont en profonde évolution, induite notamment par la modification des comportements alimentaires, le souci croissant de renforcement de la sécurité alimentaire et de protection de l'environnement. Les recherches en cours à l'INRA ont pour but de répondre aux attentes des consommateurs en terme de goût, santé et sécurité.

Perspectives et enjeux de recherche

La France est le premier producteur de céréales d'Europe avec une moyenne de 63 millions de tonnes par an, dont la moitié est exportée. Les principales céréales cultivées sont le blé tendre, le blé dur, le maïs et l'orge. Le premier usage des céréales est l'alimentation des animaux ; seulement 20% de la consommation intérieure est utilisé pour l'alimentation humaine.

Depuis des millénaires, les céréales sont la base de multiples préparations à base de grains entiers mais surtout de farine, biscuits, pains (blé tendre), semoule, pâtes alimentaires ou blé précuit (blé dur), bières (orge) et autres boissons alcoolisées...

En nutrition humaine, les céréales constituent la base de la pyramide alimentaire puisque la consommation des glucides doit fournir plus de 50 % de l'énergie. Les céréales aident à couvrir les besoins en glucides mais également en fibres et en protéines végétales, en minéraux et en micronutriments.

L'évolution des comportements alimentaires nécessite aujourd'hui une adaptation des produits pour simplifier la préparation des repas : produits à cuisson rapide (pâtes, blé...), préparations prêtes à l'emploi (crêpes, pâtisseries...). Les produits céréaliers sont aussi intrinsèquement un support de préparations culinaires complètes (pizzas, sandwiches...). Les spécifications de ces produits déterminent la nature des procédés et des caractéristiques de matières premières à utiliser.

Les études menées à l'INRA cherchent à répondre aux attentes des consommateurs concernant la qualité sanitaire, la qualité nutritionnelle et l'élargissement de la diversité sensorielle. Elles visent à une construction optimisée de la qualité *in vivo* dans le grain pour répondre aux nouvelles demandes engendrées par de nouveaux modes de culture des céréales, de transformation et de consommation.

Pour la filière, ces recherches devraient permettre de concilier la variabilité de la matière première et l'obtention de produits de qualité constante ou de pouvoir adapter ces matières premières en fonction de leur usage, et de développer de nouveaux produits.

Enfin, les contraintes liées aux coûts et aux réglementations incitent à développer des procédés plus économiques, moins polluants et à utiliser les co-produits dans des applications à haute valeur ajoutée. Aussi la valorisation, alimentaire ou non-alimentaire, du grain entier par des procédés de transformation les plus simples et les plus efficaces est une priorité.

Tour d'horizon de la recherche sur les céréales à l'INRA

Pour répondre aux attentes des consommateurs (prévision des propriétés sensorielles, apport en fibres, disponibilité des micronutriments et de l'amidon, réduction du risque allergique), l'INRA a développé une approche de recherche intégrée et pluridisciplinaire abordant tous les maillons des filières.

L'Institut s'appuie pour cela sur un « groupe-filières » céréales composé de chercheurs et de

représentants des filières. Son objectif est de favoriser les interactions entre les partenaires et les acteurs de la filière et de contribuer à l'identification des besoins de recherche.

Les recherches sont ainsi organisées autour des principales étapes : amélioration des variétés, techniques culturales et procédés de transformation, en partant des attentes des consommateurs. Des économistes apportent leur contribution de manière transversale en analysant les systèmes de production, les marchés et en évaluant les politiques mises en œuvre dans le secteur des céréales.

- **Amélioration des variétés**

Les chercheurs tentent de décrypter la biologie et la génétique des grains. Le génome du blé par exemple est d'un niveau de complexité bien supérieur à celui des plantes modèles comme *Arabidopsis thaliana* ou le riz. Les facteurs fondamentaux de l'élaboration des caractéristiques structurales des grains et de sa variabilité sous l'effet des conditions agro-climatiques sont encore mal connus. Les mécanismes biologiques correspondant et leur régulation en fonction de facteurs génétiques et environnementaux doivent donc être élucidés pour continuer à progresser dans la voie de la maîtrise de la valeur technologique et nutritionnelle. Ces connaissances pourront déboucher sur la sélection de nouvelles variétés mieux adaptées aux demandes des utilisateurs.

→ GENOPLANTE est le programme fédérateur de recherche en génomique végétale en France, créé en 1999, en association avec la recherche publique (INRA, Cirad, IRD, CNRS) et les principales sociétés privées impliquées dans l'amélioration et la protection des cultures (Biogemma, Bayer Cropscience, Bioplante). Ce programme a permis de financer des travaux sur les génomes de plantes cultivées (Blé, Maïs, Riz, Pois, Colza, Tournesol) mais aussi sur le génome modèle de l'espèce *Arabidopsis*. Une nouvelle initiative appelée GENOPLANTE 2010 a été lancée en avril 2005 pour maintenir la compétitivité de la recherche dans ce domaine stratégique jusqu'en 2010. Cette initiative réunit 7 membres, sur la base d'un équilibre public-privé : l'INRA, le CNRS, le CIRAD et l'IRD et BIOGEMMA, ARVALIS-Institut du Végétal et SOFIPROTEOL. La génomique végétale permet de découvrir les gènes et leur diversité, elle facilite ainsi l'obtention de produits à plus forte valeur nutritionnelle et contribuera à la diffusion de cultures mieux adaptées aux contraintes d'environnement.

Ces recherches en matière d'amélioration des variétés contribuent également à l'entretien et au renouvellement de la biodiversité.

→ **Le Centre de Ressources Biologiques des céréales à pailles** de Clermont-Ferrand regroupe les espèces majeures d'intérêt agronomique des genres *Triticum* (blé), *Hordeum* (orge), *Secalae* (seigle), *Triticosecalae* (triticale) et *Avena* (avoine), et leurs apparentées sauvages. Une partie des accessions conservées sont des ressources génétiques "patrimoniales" (variétés populations, lignées de sélections, lignées élites fixées), qui représentent environ 10 000 blés, 6 300 orges, 1 000 triticales, 800 avoines et 50 seigles. Le CRB gère également près de 10 000 accessions d'intérêt scientifique dédiées aux études de génomique ; il s'agit de tout un cortège de matériel scientifique : lignées porteuses de caractères particuliers comme des résistances aux maladies, matériel d'intérêt cytogénétique et moléculaire, population de cartographie génétique, mutants de délétion, etc.
Fiche de dossier de presse. 01/02/2005 Le centre de ressources génétiques "céréales à pailles"

→ Une nouvelle obtention INRA, Koreli, variété de blé tendre d'hiver panifiable, a été inscrite au catalogue français en juillet 2006. Elle est le résultat d'un travail collectif de près de douze années des équipes de l'INRA. Alliant productivité et qualités technologiques (poids spécifique très élevé, bonne qualité boulangère), avec un excellent état sanitaire, Koreli est une variété destinée à satisfaire les besoins des agriculteurs grâce à son haut niveau de performance, et s'inscrit parfaitement dans une démarche d'agriculture durable.

Fiche de Presse Info du 31/08/2006 : Koreli : une nouvelle variété de blé panifiable

Caractéristiques du grain

Les chercheurs étudient la construction, la mise en place et l'assemblage des biopolymères (amidon, protéines, polysaccharides des parois) dans la plante à différents stades physiologiques. Ces recherches ont pour objectif la compréhension des facteurs essentiels dans la construction des caractéristiques qualitatives de l'amidon, des protéines et des parois, et la texture finale de l'albumen dans les organes végétaux au cours du développement de la plante.

- contact : Véronique Planchot, INRA Nantes.

Plate-forme "biopolymères – interactions – biologie structurale " à Nantes

Cette plate-forme est dédiée à l'analyse des biopolymères d'origine végétale et animale, de leur structure et de leur organisation aux échelles moléculaires et supramoléculaires. Elle a été labellisée plate-forme opérationnelle par la Réunion Inter-Organismes (INSERM, CNRS, INRA, CEA) en décembre 2003. Elle est ouverte à la communauté scientifique, publique et privée, travaillant sur les biopolymères et réunit trois composantes instrumentales :

- * Microscopie
- * Résonance Magnétique Nucléaire
- * Spectrométrie de Masse.

Valeur meunière des blés

La valeur meunière d'un blé correspond à son aptitude à produire un rendement élevé en farine de pureté déterminée et au meilleur coût de fabrication (énergie dépensée). Les bases physiques ou physico-chimiques de la valeur meunière restent controversées et on ne dispose pas de véritable test de sélection pour cette caractéristique. C'est pourquoi l'INRA de Montpellier et plusieurs partenaires de la filière céréalière ont constitué en 2003 un consortium de recherche ayant pour objet d'étudier les bases structurales de la valeur meunière des blés et de mettre au point des méthodes d'appréciation utilisables en sélection ou dans d'autres étapes de la chaîne de transformation.

Le consortium associe ARVALIS-Institut du végétal, l'Association Nationale de la Meunerie Française (ANMF), l'Association Française des Semences de céréales à paille et autres espèces Autogames (AFSA), DANONE VITAPOLE, ULICE, Tripette et Renaud – CHOPIN, l'Institut de Recherches Technologiques Agroalimentaires des Céréales (IRTAC). Les partenaires ont décidé au début 2007 de prolonger ces recherches pour 3 ans et d'y associer de nouveaux partenaires (BUHLER, et l'ENILIA-ENSMIC).

- Contact : Joël Abecassis, INRA Montpellier

Allergie

Un autre volet est consacré à l'allergie aux protéines alimentaires. L'objectif de ces travaux est de réduire le risque allergique lié aux produits céréaliers à base de blé.

→ Une équipe de recherche INRA de Nantes étudie d'une part l'identification des allergènes, en analysant le sérum de patients allergiques, et d'autre part les itinéraires technologiques du blé : certains traitements effectués au cours de la transformation agroalimentaire modifient les protéines et peuvent ainsi diminuer ou augmenter l'allergénicité du produit final. Par ailleurs, l'INRA a lancé un programme de sélection de variétés de blé ne contenant pas certains allergènes, mais conservant leurs qualités boulangères.

• Techniques culturales

Les recherches visent à mettre au point et développer des systèmes agricoles innovants, optimisant les intrants, limitant l'utilisation de l'eau...

→ Le réseau ITK regroupe l'INRA, Arvalis, des Chambres d'Agriculture et des sélectionneurs privés (Club des 5). Les travaux de ce réseau s'orientent sur l'utilisation de variétés rustiques de blé tendre multirésistantes aux maladies, couplées à des itinéraires techniques adaptés, nécessitant des interventions et des traitements réduits, sans perte de revenu pour l'agriculteur.

- Contact : Bernard Rolland, INRA Rennes

→ Le projet GARICC (Génotypes de blé dur et Adaptation Régionale aux Itinéraires techniques et aux Contraintes Climatiques) rassemble des coopératives de céréales, des chercheurs et des industriels. Il a pour objectif de fournir à la filière blé dur des outils pour contrer les conséquences de la sécheresse en région Languedoc Roussillon.

La qualité du grain est un paramètre très important pour permettre au producteur de valoriser sa récolte. L'objectif de ce projet est d'évaluer le potentiel technique et économique des exploitations, pour y cultiver des variétés de blé adaptées à la sécheresse. Une meilleure connaissance des potentialités des terroirs de production permettra de disposer des produits identifiables tant sur la base de leurs aptitudes à la transformation industrielle que pour leurs qualités pastières.

Ce programme, coordonné par Arvalis, a été mis en place dans le cadre du pôle de compétitivité Q@limed (cf. p 13).

Agriculture biologique

Un programme de travail transdisciplinaire est engagé depuis 2004 pour comprendre comment s'élabore la qualité technologique, nutritionnelle et organoleptique et évaluer la qualité d'un blé, d'une farine et d'un pain issus de l'agriculture biologique comparativement aux techniques de l'agriculture raisonnée.

Les recherches visent à :

- Identifier, quantifier et comprendre les sources de variabilité de la qualité d'utilisation des blés biologiques aux différentes étapes de la production et de la transformation,
- Préciser les attentes des consommateurs pour les produits de panification issus de l'agriculture biologique de manière à identifier les principaux critères pertinents,
- Rassembler et structurer les connaissances au sein de cette filière en vue de développer des méthodes d'évaluation (sensorielles et instrumentales) de la qualité d'utilisation des blés biologiques.

Ce programme associe plus de 20 laboratoires de l'INRA, des centres techniques de l'Association de Coordination Technique Agricole (ACTA) et de l'Association de Coordination Technique pour l'Industrie Agroalimentaire (ACTIA).

• Contact : Joël Abecassis, INRA Montpellier

→ La maîtrise de la nutrition azotée du blé est un facteur déterminant du rendement et de la qualité. Un projet de recherche a pour objectif d'améliorer le raisonnement de la fertilisation azotée du blé biologique. Pour ce faire, une équipe conjointe de chercheurs INRA, ISARA et Arvalis-Institut du Végétal s'est intéressée aux conditions de production du blé biologique (suivi d'un réseau de parcelles bio et essais au champ) et a utilisé un outil de gestion développé en agriculture conventionnelle : Azodyn.

Fiche de dossier de presse du 25/11/2003 : Fertilisation organique et amélioration de la productivité et de la qualité boulangère du blé biologique

• Procédés de transformation

Le fractionnement des matières premières végétales représente une étape décisive pour leur valorisation. L'utilisation de procédés de fractionnement permet à la fois d'obtenir des produits alimentaires intermédiaires (farines, semoules, etc.) mais aussi des "agro-molécules" (protéines, amidons, micronutriments...) dont on souhaite exacerber les propriétés.

Les céréales sont largement consommées sous forme de farines blanches. Or, les minéraux et les vitamines du grain de blé ont la particularité d'être concentrés dans les enveloppes externes (son) et le germe qui sont éliminés dans les procédés de mouture.

Les chercheurs travaillent à l'amélioration des procédés de fractionnement et étudient l'impact des procédés (broyage, décorticage, séparation) sur l'extraction des micronutriments, mais aussi la limitation du risque sanitaire. En effet, les micronutriments du grain de blé sont également situés dans les zones les plus susceptibles de contenir des résidus de produits phytosanitaires.

Si hier, les procédés de fractionnement des grains de céréales reposaient sur des approches empiriques et ancestrales et le savoir-faire des opérateurs, les recherches menées à l'INRA de Montpellier apportent aujourd'hui une connaissance objective du comportement des tissus aux opérations de fractionnement, en lien avec leur structure et composition biochimique. Cette connaissance fonde aujourd'hui les travaux sur le développement de procédés et produits innovants.

Cette approche systématique d'étude du comportement des tissus lors des opérations de fractionnement et la recherche des composés d'intérêt est menée en lien étroit avec les spécialités de la sélection variétale, pour l'amont, et de la nutrition, pour l'aval (INRA de Clermont-Ferrand). Elle prend en compte également les problèmes éventuels de "contaminants" des grains, tels ceux synthétisés par des microorganismes (INRA de Bordeaux) et les qualités technologiques et sensorielles (INRA de Nantes et Dijon) des aliments céréaliers.

Plate-forme "Fractionnement des céréales" à Montpellier

Cette plate-forme, unique en Europe, met à disposition des filières céralières un ensemble d'équipements permettant de réaliser les principales opérations unitaires de fractionnement par voie sèche. Centrée sur la première transformation des céréales, cette plate-forme permet des expérimentations à l'échelle pilote. Elle est utilisée par les chercheurs, en collaboration avec des industriels de la filière Céréales, pour formaliser des savoir-faire traditionnels et développer des produits nouveaux à partir de la maîtrise des procédés de première transformation.

Conférence de presse • 27 février 2007

→ L'INRA, en collaboration avec 3 coopératives, a lancé un programme visant à fabriquer un nouvel aliment à base de blé dur vert. Les chercheurs de l'INRA de Montpellier ont travaillé sur les aspects technologiques de la transformation du grain, ainsi que sur la conservation de la qualité nutritionnelle. Après 7 années de recherche et de développement, le produit est aujourd'hui commercialisé, sous la marque Grinn's® : un blé vert entier, conditionné en sachets souples et microondables, qui cumule les avantages d'une céréale et d'un légume vert.

Fiche de Presse Info du 14/04/2005 : [Du blé vert dans nos assiettes](#)

→ Dans le cadre d'un réseau RARE (Réseau de recherche et d'innovation technologiques Alimentation Référence Europe, des ministères de la recherche et de l'agriculture), le programme Conception Assistée de Nouveaux Aliments (CANAL) a été mené par l'INRA avec pour objectif la réalisation d'outils d'aide à la décision : méthodes de mesures, simulateurs, démonstrateurs... pour permettre aux industriels de développer de nouveaux produits.

Les chercheurs ont étudié le comportement d'aliments "modèles" tant au niveau de leur formulation que des procédés de transformation, en lien avec les problématiques industrielles. Les connaissances obtenues dans le cadre des projets sont en phase de transfert.

Dans le cadre du projet "SALVE" mené par l'INRA de Nantes, des modèles décrivant l'évolution de la structure alvéolaire des produits céréaliers en cours de transformation (fermentation, cuisson) ont été développés et validés par les expérimentations réalisées par imagerie *in situ* (IRM, tomographie RX). Par extension numérique du modèle des solides cellulaires, les propriétés mécaniques (élasticité, résistance) du produit ont été calculées en fonction de la structure alvéolaire. Leur lien avec les propriétés sensorielles (croustillance, moelleux) ayant été établi, l'assemblage de ces résultats permet de déterminer la formulation et la conduite des procédés requis pour l'obtention de la texture souhaitée.

A partir de ces résultats, les chercheurs ont mis au point un outil d'aide à la décision pour le développement rationnel de nouveaux produits céréaliers répondant aux qualités nutritionnelles et organoleptiques recherchées.

- **Usages non alimentaires**

Le développement des besoins en biocarburant repose en particulier sur la production d'éthanol. A côté de l'utilisation de l'amidon, selon des procédés maintenant bien au point, se mettent en place des recherches sur l'utilisation des sons et drèches où les composés cellulosiques sont transformés en éthanol par une succession d'hydrolyses enzymatiques et de fermentation (INRA de Toulouse, en relation avec le pôle Industries et Agro-Ressources de Champagne Ardenne). Ce travail contribue à une valorisation complète du grain, dans une logique de développement durable, où les besoins alimentaires et énergétiques sont rendus complémentaires et non concurrents.

La recherche sur les céréales en trois axes : goût, santé, sécurité

- **Goût**

Les recherches de l'INRA de Dijon s'inscrivent dans la thématique sensorialité-aliment et concernent plus particulièrement la qualité des aliments, la perception sensorielle, le fonctionnement des systèmes sensoriels et les préférences des consommateurs.

→ Après quatre années de développement, des chercheurs de l'INRA Dijon, en coopération avec la plate-forme technologique du Creusot, ont mis au point un simulateur de mastication, permettant de reproduire fidèlement les principales fonctions mécaniques et physiologiques de la bouche humaine, destinées notamment à libérer les composés de la saveur : la saveur et l'arôme de l'aliment.

Fiche de Presse Info du 10/11/2005 : [La machine à mâcher](#)

→ Des chercheurs de l'INRA de Nantes ont mis au point une méthode à l'échelle du laboratoire pour évaluer et prédire le croustillant des pétales de maïs du petit déjeuner. Les résultats de cette étude ont contribué à la sélection variétale de maïs adapté à la production de corn flakes et à la détermination des facteurs structuraux impliqués dans leur texture.

Fiche de Presse Info du 21/03/2006 : [Au cœur des corn-flakes](#)

- **Santé**

→ **Teneur en fibres du pain**

La nature du pain a évolué avec l'accroissement de l'utilisation de farines blanches et les modifications des procédés de fabrication. Le développement du pain blanc a conduit à une baisse de la densité nutritionnelle et surtout de la teneur en fibres par rapport à des céréales complètes. L'objectif du programme INRA AQuaNuP (Amélioration de la qualité nutritionnelle du pain) mené par l'INRA de Nantes et de Dijon est de développer de nouveaux pains avec un index glycémique réduit et une teneur accrue en fibres alimentaires, qui permettrait d'intégrer les recommandations nutritionnelles et les attentes du consommateur.

cf. fiche : [Améliorer la qualité nutritionnelle du pain en gardant ses qualités sensorielles p 15](#)

Association de céréales et légumineuses

Pastaleg, un autre programme de recherche, associant l'INRA de Montpellier et de Nantes et l'Ania (Association nationale des industries alimentaires), travaille à l'élaboration de pâtes incorporant des légumineuses pour aider le consommateur à accroître sa consommation de légumineuses. En effet, celles-ci jouent un rôle essentiel dans la longévité des populations et la prévention de diverses maladies. Ces pâtes aux légumineuses devraient arriver en rayon d'ici à 2-3 ans.

• Contact : Valérie Micard, INRA Montpellier

- **Sécurité**

Les recherches de l'INRA portent sur les insectes des grains et les agents d'altération fongiques, notamment producteurs de mycotoxines. La prolifération non maîtrisée des insectes ravageurs des stocks représente un des risques majeurs de détérioration de la qualité des stocks de grains et graines. Les défauts de qualité sanitaire qu'entraînent les infestations sont irréversibles et se répercutent sur la qualité sanitaire de tout l'aval de la filière jusqu'à l'aliment.

L'INRA de Bordeaux (pôle « Qualis ») développe une approche intégrée couvrant plusieurs champs complémentaires : biodiversité, génétique et physiologie des champignons toxigènes, détection et typage des insectes des denrées, intelligence artificielle et systèmes d'aides à la décision.

Risque mycotoxique

Les mycotoxines sont des toxines élaborées par diverses espèces de champignons microscopiques tels que les moisissures (*Aspergillus*, *Fusarium*, *Stachybotrys*, *Penicillium*, etc.). En Europe, ce risque est essentiellement lié aux mycotoxines produites au champ avant récolte, représentées majoritairement par les mycotoxines de *Fusarium* (*trichothécènes*, *zéaralénone* et *fumonisines*).

→ L'INRA et l'Institut de Recherches Technologiques Agroalimentaires des Céréales (IRTAC) pilotent un programme RARE (Réseau de recherche et d'innovation technologiques Alimentation Référence Europe, des ministères de la recherche et de l'agriculture) consacré spécifiquement aux mycotoxines de *Fusarium*. Les recherches s'orientent vers la compréhension des phénomènes modulant la production et la persistance de ce type de mycotoxines dans les céréales avant et après la transformation. Le consortium (près de 40 équipes, du secteur public et privé) aborde trois axes :

- La maîtrise préventive de la biosynthèse des fusariotoxines au champ ;
- Les outils de traçabilité dans la chaîne de transformation en aliment ;
- L'appréciation des risques toxicologiques spécifiques pour une meilleure prévention.

<http://www.bordeaux.inra.fr/rare-fusariotoxines/>

Insectes ravageurs des stocks

Les infestations par les insectes découlent à la fois du manque de maîtrise des conditions de conservation d'énormes quantités de matières premières alimentaires entreposées en silos ou magasins parfois pendant plus d'une année entière, et d'une absence de compréhension de la dynamique d'évolution et d'adaptation des populations de ces ravageurs indésirables à des environnements changeants.

→ cf. fiche : [Prévention simultanée des risques liés aux insectes et aux résidus de pesticides dans les céréales p 19](#)

Les partenariats de l'INRA dans la recherche sur les céréales

Projets européens

L'INRA est impliqué dans deux projets européens de recherche sur les céréales :

Conférence de presse • 27 février 2007

→ **QualiGrain** - *Quality of stored grain* / qualité des grains stockés

Etude et développement d'un système d'aide à la décision pour le pilotage et le contrôle de la qualité de l'orge de brasserie. <http://www.bordeaux.inra.fr/QualiGrain/index.html>

→ **HEALTHGRAIN** - *Exploiting Bioactivity of European Cereal Grains for Improved Nutrition and Health Benefits* / Mieux exploiter les composés actifs des céréales pour leurs effets positifs sur la santé. <http://www.healthgrain.org>

cf. fiche : **Exploiter pleinement le potentiel nutritionnel des céréales p 17**

Pôles de Compétitivité

Céréales Vallée

L'INRA est partenaire de ce pôle de compétitivité "Innovation dans les céréales" qui a pour but de développer des projets innovants de recherche et développement, en partenariat avec des industriels en Auvergne.

Il concerne la valorisation des céréales en terme de génomique, sélection des semences et agro-industrie. Il se positionne à la fois en amont de la filière dans le secteur des semences et en aval, dans le secteur de la recherche de nouvelles utilisations pour les céréales. Trois unités du Centre INRA de Clermont-Ferrand sont impliquées dans ce pôle : Amélioration et santé des plantes, Agronomie, Nutrition humaine. <http://www.cereales-vallee.org/>

VITAGORA

L'INRA est partenaire de ce pôle de Compétitivité agroalimentaire ayant pour objet de générer et conduire des projets innovants pour renforcer la compétitivité des acteurs économiques des régions Bourgogne et Franche-Comté. Les recherches de l'INRA de Dijon sur la qualité des aliments, la perception sensorielle et la préférence des consommateurs s'intègrent dans le positionnement du pôle : Goût - Nutrition - Santé. Elles participent notamment au projet de la filière Blé-Panification de Vitagora. L'objectif de ce projet est d'identifier et de maîtriser les facteurs-clés permettant, sur le plan européen et international, de délivrer au consommateur final des gammes novatrices de produits de panification à haute valeur ajoutée "Goût-Nutrition-Santé" et de praticité, en optimisant successivement chaque maillon de la chaîne de valeur.

<http://www.vitagora.com/>

PROD'INNOV

L'INRA participe à ce pôle aquitain dédié aux produits et procédés innovants pour la santé et l'alimentation. A ce titre, l'INRA Bordeaux coordonne les projets visant à intégrer dans les démarches d'innovation les contraintes de sécurité sanitaire tout au long des processus de production et de transformation. Partant de la compréhension des mécanismes de contamination (mycotoxines, métaux lourds, composés organiques), les démarches visent à améliorer la traçabilité des contaminants, les diagnostics analytiques, la promotion de méthodes d'amélioration de la qualité sanitaire et la formation des acteurs. Les céréales et particulièrement le maïs et ses produits dérivés sont au cœur de ces activités du pôle. <http://www.prodinnov.fr/>

Q@LI-MEDiterranée

Le pôle Q@LI-MEDiterranée traite des systèmes agroalimentaires durables et de la qualité de vie en Méditerranée. Il s'agit de promouvoir, avec une prise en compte intégrée de l'ensemble de la production agricole et agroalimentaire, un modèle de développement original, durable, respectueux de l'environnement. Ce modèle est basé sur la notion de qualité à tous les niveaux des filières et sur les avantages comparatifs (notamment en matière de santé) des produits et des systèmes de production méditerranéens. La stratégie du Pôle s'articule autour de 4 axes dans lesquels s'insèrent les projets R&D : Améliorations variétales ; Sécurité sanitaire et traçabilité des produits frais ; Alimentation, aliments et santé ; Marketing territorial.

L'INRA : pour une alimentation adaptée

800 chercheurs et ingénieurs travaillent sur des thèmes liés à l'alimentation. Les recherches sur l'alimentation représentent 27% du budget global de l'INRA. Elles se déclinent en trois axes : goût, santé, sécurité.

Améliorer la qualité nutritionnelle du pain en préservant ses qualités sensorielles

Les produits céréaliers, et en particulier le pain, peuvent contribuer significativement au rééquilibrage de la ration alimentaire vers une consommation plus importante de glucides complexes (amidon et fibres). Toutefois, l'utilisation croissante des farines blanches a conduit à une baisse de la densité nutritionnelle et de la teneur en fibres par rapport au pain élaboré avec des céréales complètes. A partir d'une analyse des attentes du consommateur, le projet INRA "AQuaNuP" propose de développer de nouveaux pains avec un index glycémique⁽¹⁾ réduit et une teneur accrue en fibres.

Contact scientifique :

Luc Saulnier

Tél : 02 40 67 50 62

luc.saulnier@nantes.inra.fr

Unité de Recherche INRA
"Biopolymères, interactions
assemblages"

Centre INRA de Nantes

Fibres et pain

Les fibres sont les fractions alimentaires qui ne sont pas digérées dans l'intestin grêle et sont dégradées au niveau du côlon (fermentation). Elles sont bénéfiques pour la santé : connues pour faciliter le transit intestinal, elles agissent également sur les taux de glucose et de cholestérol sanguin, aidant ainsi à réduire les risques de diabète de type II et de maladies cardio-vasculaires. Un nombre significatif d'études montre également un effet protecteur contre certains types de cancer (côlon notamment).

Les fibres proviennent essentiellement des parois végétales des tissus des plantes. Fruits, légumes et céréales sont donc les principales sources de fibres dans notre alimentation. La consommation actuelle en France est estimée à 15-22 grammes/jour alors que les recommandations nutritionnelles sont d'en consommer 30 grammes par jour. La teneur moyenne en fibres du pain courant est de l'ordre de 3,5g pour 100g et la consommation moyenne de pain est estimée à 150g par jour. Une augmentation de la consommation de pain et l'augmentation de la teneur en fibre du pain (teneur en fibres d'un pain complet : 7g pour 100g) permettra, parallèlement à la consommation de fruits et légumes, d'atteindre les objectifs nutritionnels de consommation de fibres.

Cependant, l'incorporation de fibres dans le pain modifie la mise en œuvre des procédés technologiques (consistance de la pâte) et la texture des produits finaux (alvéolage, croustillant, volume du pain ...). Cet impact sur la texture entraîne une moindre acceptabilité des produits riches en fibres par le consommateur. Par ailleurs, selon l'origine des fibres (parties périphériques ou amande du grain), des pains sont modifiés ainsi que les réponses physiologiques (fermentescibilité).

Le projet AQuaNuP (Amélioration de la qualité nutritionnelle du pain) a pour but de maîtriser l'impact de l'augmentation de l'apport en fibres sur les mécanismes d'élaboration de la texture et l'acceptabilité du pain.



© INRA / Nathalie MANSION Réf : PCD0052-IMG0093.PCD

Un des volets de ce programme consiste à définir les caractéristiques sensorielles clés pour l'acceptabilité d'un pain et à analyser les effets des caractéristiques sensorielles et non sensorielles sur le comportement des consommateurs.

Définition des caractéristiques sensorielles guidant l'acceptabilité des pains

Des chercheurs de l'INRA de Dijon ont fait appel à un panel de 15 dégustateurs entraînés pour établir le profil sensoriel de 14 pains du commerce, représentatifs de l'offre actuelle. Dans un deuxième temps, ils ont demandé à un panel de 124 consommateurs de goûter les 14 mêmes pains et de donner, pour chacun d'entre eux, une note d'appréciation hédonique.

Les résultats ont montré qu'il est possible de différencier les pains étudiés selon l'intensité de 38 caractéristiques sensorielles (apparence, texture, odeur, arôme, saveur) et que l'appréciation hédonique des consommateurs est très variable d'un pain à un autre (continuum de notes allant de 8/10 pour le pain préféré à 2/10 pour le pain le moins aimé). L'étude des corrélations existant entre les notes d'intensité des descripteurs sensoriels et les notes d'appréciation hédonique a permis de préciser les principales caractéristiques contribuant positivement ou négativement au jugement hédonique des consommateurs. Ainsi, le profil idéal pour un pain de type baguette française est un pain dont l'odeur de la croûte est riche en notes grillées et farine, et dont la mie est moyennement ferme et présente de nombreux trous. On peut également noter une influence négative des notes douces, de type viennoiseries. Enfin, le croustillant est une caractéristique appréciée, cependant un niveau très élevé de croustillant s'accompagne souvent de caractéristiques qui, elles, ne sont pas recherchées par les consommateurs.

Consentement à payer des consommateurs

L'impact d'un apport d'information concernant les fibres sur le consentement à payer de ce même jury a été mesuré grâce à une méthode d'économie expérimentale pour 4 des 14 pains précédemment étudiés. Il en résulte qu'une mention 'source de fibres' est légèrement valorisée mais qu'une information sur les bénéfices nutritionnels n'induit pas une plus forte valorisation.

L'ensemble de ce travail constitue une remarquable base de connaissances pour guider le développement de nouveaux pains plus riches en fibres et acceptables pour le consommateur. La mise en relation des analyses sensorielles avec des mesures physiques (test de compression et analyse d'image) reste à réaliser. Ces tests physiques pourraient guider le développement de nouveaux produits, en évitant de recourir systématiquement à un jury d'analyse sensorielle.

Le projet AQuaNuP va également étudier l'ingénierie de la qualité des produits en maîtrisant l'apport en fibres et le développement de la texture et valider les effets de l'apport en fibres et de la modification de la texture sur la disponibilité de l'amidon (index glycémique *in vivo* et *in vitro*).

Ce projet interdisciplinaire initié en 2005 et d'une durée de trois ans est financé dans le cadre du programme de recherche en alimentation de l'INRA. Il associe plusieurs de ses unités de recherche (UMR-FLAVIC Dijon, UMR-IATE Montpellier, UMR-ASP Clermont-Ferrand, UR-BIA-Nantes), l'ENITIAA de Nantes et l'INSERM (Hôtel-Dieu Paris). Il est conduit en collaboration avec différents partenaires : l'Association Nationale de la Meunerie Française, ARVALIS, la société Biofournil, les moulins Girardeau et le pôle de compétitivité agroalimentaire VITAGORA.

(1) L'index glycémique est un critère de classement des aliments permettant d'évaluer leur action sur le taux de glucose dans le sang. Les aliments ayant un index glycémique inférieur à 55 sont dits *sucres lents*, ceux dont l'index glycémique est supérieur à 70 sont appelés *sucres rapides*. La baguette « courante » a un index glycémique d'environ 80.

Contact scientifique :

Luc Saulnier

Tél : 02 40 67 50 62

luc.saulnier@nantes.inra.fr

Unité INRA "Biopolymères,
interactions assemblages"

Centre INRA de Nantes

Healthgrain : exploiter pleinement le potentiel nutritionnel des céréales

Face aux préoccupations liées à l'obésité et au diabète dans la population européenne, le projet européen HEALTHGRAIN⁽¹⁾ a pour objectif de mieux exploiter les composés actifs des blés européens et de proposer ainsi les bases d'une alimentation répondant mieux aux attentes nutritionnelles de demain. L'INRA contribue significativement à ce vaste projet qui définira des processus de transformation adaptés pour développer des aliments et des ingrédients céréaliers qui contribueront à une alimentation saine.

Contact scientifique :

Xavier Rouau

Tél : 04 99 61 22 02

rouau@supagro.inra.fr

Unité Mixte INRA/CIRAD/
SupAgro /Univ. Montpellier
II "Ingénierie des agro-
polymères et technologies
émergentes"

Centre INRA de Montpellier

Le projet HEALTHGRAIN s'appuie sur les résultats d'études récentes ayant démontré que les aliments à base de céréales complètes pouvaient procurer une certaine protection contre les maladies cardio-vasculaires, les attaques et le diabète de type II. Cependant, le pain est actuellement préparé principalement à partir de farine raffinée, exempte de nutriments et des éléments protecteurs contenus dans les couches externes des grains de céréales. Ce projet s'inscrit dans une stratégie visant à augmenter la consommation des micronutriments bénéfiques pour la santé des grains entiers ou de leurs fractions. Le but est de produire des aliments et des ingrédients à base de céréales présentant un haut niveau de qualité et de sécurité alimentaire.

Dans le cadre de ce projet, un travail multidisciplinaire est entrepris d'une part pour déterminer la variabilité naturelle, les changements induits par les procédés et les effets sur le métabolisme humain des constituants bioactifs des grains de céréales panifiables et d'autre part, pour comprendre les mécanismes physiologiques qui sous-tendent le rôle de ces constituants dans la prévention du syndrome métabolique et des maladies qui y sont liées. Des études sur le comportement des consommateurs sont également engagées dans quatre pays européens (Finlande, Allemagne, Italie et Royaume-Uni) pour comprendre les attentes des consommateurs en matière d'aliments céréaliers plus complets et leurs réactions aux allégations santé sur ces produits.

Trois équipes des Centres INRA de Clermont-Ferrand, Montpellier et Nantes sont fortement impliquées dans les modules "Amélioration variétale et biotechnologie" et "Technologie et procédés de transformation".

Création variétale et biotechnologies

L'unité "Amélioration et Santé des Plantes" de l'INRA de Clermont-Ferrand développe plusieurs projets dans le cadre de HEALTHGRAIN, notamment sur les arabinoxylanes et les protéines du grain de blé.

- Les arabinoxylanes sont les principaux constituants des parois de l'albumen et sont une source de fibres pour l'alimentation humaine. L'équipe a repéré



© INRA/ Chantal Nicolas réf : PCD0025-IMG0006.PCD

les zones chromosomiques impliquées dans les différences de viscosité des arabinoxylanes. Les principales enzymes impliquées dans la synthèse des arabinoxylanes ont été identifiées. Plusieurs de ces gènes peuvent désormais être utilisés en sélection assistée par marqueur, c'est-à-dire "étiquetés" avec des marqueurs moléculaires, pour mieux gérer les croisements et obtenir des variétés ayant des gènes ou des associations de gènes favorables.

L'unité INRA "Biopolymères Interactions Assemblages" de Nantes a exploré la variabilité génétique et agro-environnementale des arabinoxylanes sur une collection mondiale de variétés de blé. L'étude confirme le caractère essentiellement génétique de ces variations et la possibilité de sélectionner de nouvelles variétés plus riches en fibres d'intérêt nutritionnel. Par ailleurs, des outils biologiques ont été développés pour permettre de visualiser les parois dans le grain et les aliments, et donc de mieux comprendre leur modification lors des transformations biologiques ou technologiques du grain.

- Le grain de blé est composé, en plus des protéines qui forment le gluten, de plusieurs milliers de protéines différentes dont il convient de préciser l'identité, le déterminisme génétique et la fonction. Une démarche d'analyse à grande échelle a permis d'identifier les protéines présentes dans l'albumen et celles spécifiques de la couche à aleurone. La localisation sur des zones chromosomiques des gènes codant ces protéines (plus de 3000) est en cours.

Nouveaux procédés de fractionnement et tri des particules

Les chercheurs de l'INRA de Montpellier ont mis au point des marqueurs des différents tissus du grain de blé pour déterminer leur concentration dans les fractions technologiques et ainsi permettre le développement de nouveaux procédés de fractionnement. Deux approches sont suivies en parallèle. D'une part, la détection de molécules spécifiques des différents tissus par des dosages biochimiques permet une caractérisation fine des fractions produites et de l'impact des procédés. D'autre part, la recherche de signaux spectraux caractéristiques des différents tissus sert à développer des méthodes de détermination de la composition histologique. En collaboration avec un partenaire privé et les chercheurs de l'INRA de Nantes, un équipement utilisant les propriétés de fluorescence de différents constituants du grain est en cours de mise au point pour identifier et quantifier rapidement les différents tissus dans les fractions de mouture.

L'équipe a développé de nouveaux procédés de transformation du grain pour obtenir des farines enrichies au plan nutritionnel tout en gardant une bonne aptitude à la deuxième transformation. Les chercheurs ont réalisé des farines de référence, à partir de fractions de grains purifiées mécaniquement pour évaluer l'impact techno-fonctionnel et nutritionnel de chaque tissu périphérique et fixer ainsi des objectifs pour la production de farines améliorées.

Les chercheurs ont également mis au point des procédés de fractionnement des sons de blé pour la production d'ingrédients alimentaires. L'objectif est de déstructurer et diviser la matière première aussi finement que possible et de trier les particules en fonction de leur composition pour obtenir des fractions (ingrédients ou additifs) ayant des propriétés fonctionnelles et nutritionnelles contrastées et bien identifiées. Dans le cadre de ce projet, les chercheurs mettent en oeuvre des techniques de fractionnement innovantes telles que le broyage cryogénique à -100°C (la matière, plus cassante, se réduit plus finement et les composés sensibles sont mieux préservés) et la séparation électrostatique (les particules issues des différentes parties du grain se chargent différemment en électricité statique et sont triées suivant leur charge dans un champ électrique). Ces technologies sont étudiées tant au niveau des propriétés de la matière que de l'optimisation de procédés à l'échelle pilote. Les ingrédients produits par cette méthode font l'objet d'essais en collaboration pour la fabrication d'aliments et leurs impacts nutritionnels.

(1) Healthgrain regroupe 43 partenaires de 15 pays européens. Ce projet, lancé en juin 2005, dispose d'un budget total de 16 millions d'euros dont 10,8 millions sont financés par la Commission européenne sur cinq ans. Pour plus d'information : <http://www.healthgrain.org>

Contact scientifique :

Xavier Rouau

Tél : 04 99 61 22 02

rouau@supagro.inra.fr

Unité Mixte INRA/CIRAD/
SupAgro /Univ. Montpellier
II "Ingénierie des agro-
polymères et technologies
émergentes"

Centre INRA de Montpellier

Prévention simultanée des risques liés aux insectes et aux résidus de pesticides dans les céréales

La gestion des infestations par les insectes et des contaminations par les résidus de pesticides dans le respect des nouvelles réglementations européennes exige des démarches intégratives complexes, qui concernent l'ensemble des étapes du processus de production et de transformation. Les technologies et outils dérivés de recherches intégrées conduites par les chercheurs du pôle Qualis à l'INRA de Bordeaux devraient contribuer dans un futur proche à une meilleure traçabilité de la qualité et la sécurité sanitaires dans les différentes filières céréales destinées à l'alimentation humaine.

Contact scientifique :

Francis Fleurat-Lessard,

Tél : 05 57 12 24 78

Francis.Fleurat-Lessard@bordeaux.inra.fr

Unité de recherche INRA
"Mycologie et sécurité des aliments"

Centre INRA de Bordeaux

L'infestation des stocks de grains ou graines par les insectes représente la première cause de non-conformité de la qualité sanitaire des livraisons de céréales aux industries de transformation alimentaire ou à l'exportation. En conséquence directe de cette situation, la protection des stocks contre les attaques d'insectes est la principale source de résidus de pesticides dans les céréales alimentaires.

La recherche à l'INRA de Bordeaux est centrée sur la prévention simultanée des risques liés aux insectes et résidus de pesticides dans les céréales et leur maîtrise par des concepts et des outils innovants.

Vers la garantie de sécurité sanitaire et la réduction du recours aux pesticides

Les résidus de pesticides à une teneur anormalement élevée et qui seraient retrouvés de manière durable dans les produits céréaliers de consommation régulière (pain, biscuits, pâtisserie, pâtes, pétales de maïs, flocons d'avoine, semoule, etc.) pourraient avoir des effets sur la santé.

L'ingestion de fragments d'insectes ou d'acariens dans un aliment à base de céréales n'est pas dangereuse, en particulier si le produit alimentaire a subi une cuisson. Toutefois, certains individus peuvent développer une allergie alimentaire à la consommation d'aliments fortement « chargés » en fragments d'insectes ou d'acariens. Il est donc particulièrement important de ne pas utiliser des céréales infestées d'insectes ou d'acariens dans la fabrication de ces aliments (farine, semoule, malt, flocons de maïs, etc.).

Pour protéger la santé du consommateur, la réduction de l'utilisation des pesticides dans et sur les produits agro-alimentaires fait l'objet d'une réglementation européenne stricte, obligeant les exploitants du secteur agroalimentaire à appliquer



©INRA / Jean-Marie Bossennec Réf : PCD0009-IMG0080.PCD

une démarche d'assurance qualité hygiénique et sanitaire et à respecter des normes sur les teneurs maximales en résidus de pesticides dans les aliments.

Les chercheurs sont donc amenés à développer des outils pour gérer les risques sécuritaires dans un contexte où il faut minimiser le recours aux substances biocides.

La protection antiparasitaire intégrée

Pour réduire de manière durable les résidus de pesticides dans les produits céréaliers, sans augmentation de l'occurrence des infestations par les insectes ou leurs fragments dans les céréales et les aliments dérivés, les chercheurs de l'INRA mettent au point un système de gestion des populations de ravageurs en conditions de stockage : la protection antiparasitaire intégrée. Elle utilise et combine intelligemment toutes les méthodes et les techniques appropriées afin de maintenir la densité des populations en dessous des seuils de nuisibilité. Dans tous les cas où cela est possible, les alternatives aux traitements pesticides générateurs de résidus sont préférées. Les traitements thermiques (chaleur ou refroidissement) ou mécaniques (grillage moustiquaire aux ouvertures des usines de transformation) ou les produits et auxiliaires biologiques (insectes parasitoïdes) sont utilisés en priorité.

Les axes de recherche actuels sont :

- La reconnaissance automatique des bruits d'insectes

Dans le cadre du projet de R & D européen "QualiGrain", les chercheurs de l'INRA ont optimisé la détection acoustique d'insectes dans les grains stockés. Des sondes spécifiques ont été conçues pour différencier les signatures acoustiques de différents stades (larve ou adulte) ou espèces (charançons, capucin, tribolium...), enregistrées directement dans les masses de grain. La comparaison des signaux enregistrés avec des signaux de référence nécessite la construction d'une base de données exhaustive de signatures acoustiques.

- La modélisation de la dynamique des populations d'insectes

Une modélisation prédictive de la dynamique des populations d'insectes des grains, en utilisant les données fournies par le nouveau système acoustique de détection et de classification des signatures acoustiques d'insectes des grains stockés a été entreprise.

- La mise en place de moyens de surveillance des mouvements de population

Les chercheurs alimentent et enrichissent une collection de profils révélateurs de la diversité génétique au sein des populations d'insectes nuisibles aux céréales ou aux produits céréaliers. A partir de l'ADN des insectes, on observe des profils d'"empreinte génétique" de la population étudiée. Dans un avenir proche, ces outils pourraient être utilisés pour détecter la présence d'ADN d'insecte dans les produits céréaliers bruts ou peu transformés.

- Une meilleure compréhension de la tolérance de l'insecte aux stress physiques

Cette recherche est associée au remplacement des traitements pesticides par des techniques de lutte physique (ventilation de refroidissement, congélation temporaire, atmosphères modifiées, choc thermique,...).

- L'assemblage des connaissances dans un système d'aide à la décision informatisé

Un chercheur de l'INRA de Bordeaux a conçu un système expert pour proposer des itinéraires techniques ou des actions et interventions appropriées pour optimiser la préservation de la qualité du produit final. Il est envisageable d'étendre le domaine d'application de tels systèmes experts à la conduite guidée des démarches d'assurance de qualité sanitaire et de traçabilité des lots de grains stockés.

Contact scientifique :

Francis Fleurat-Lessard,

Tél : 05 57 12 24 78

Francis.Fleurat-Lessard@bordeaux.inra.fr

Unité de recherche INRA
"Mycologie et sécurité des
aliments"

Centre INRA de Bordeaux