

Qualité sanitaire, sensorielle, *nutritionnelle, environnementale* et technologique des aliments

L'aliment fascine. À la fois alléchant et nourrissant, il est aussi un symbole d'identité culturelle, une source de plaisir et de satisfaction. Il peut être également utilisé de façon créative comme, par exemple, en gastronomie moléculaire.

Cependant, l'alimentation doit faire face à quatre défis majeurs. Le premier traite de la sécurité alimentaire ou de « la nourriture pour tous ». Le second concerne l'obésité et les maladies qui y sont associées. Le troisième est la sécurité sanitaire (absence de risque chimique ou microbien). Le quatrième s'intéresse à la pression exercée sur les ressources renouvelables. Ce dernier défi implique un usage pertinent des ressources renouvelables pour toutes les applications, que ce soit en alimentation, pour les biomatériaux et la bioénergie ou encore pour des chaînes alimentaires durables.

Ainsi, la qualité alimentaire peut se définir de multiples manières : qualité nutritionnelle, sensorielle (saveur, couleur, texture, etc.) émotionnelle ou symbolique, ou encore en termes de durabilité, de sûreté, d'utilité, etc.

La qualité présente aussi une signification différente selon le groupe cible comme, par exemple, les enfants, les personnes âgées, les entités religieuses, etc. En fait, la qualité est perçue différemment pour chaque personne et aussi selon le moment et l'atmosphère environnante lors de la consommation. Les demandes et les exigences des consommateurs déterminent les spécifications qualitatives du produit final destiné à la consommation, indépendamment du contexte de production (pays industrialisés ou en développement).

Ces spécifications servent de point de départ pour la production alimentaire, incluant toutes les étapes de transformation (traditionnelle ou nouvelle) des ressources renouvelables en produits finaux et en ingrédients. Chaque étape doit être optimisée en termes de spécifications finales ; ce qui requiert par conséquent une compréhension approfondie des liens entre procédé, structure et fonction. De nombreux exemples des recherches menées dans ce domaine par la communauté scientifique montpelliéraine et régionale sont proposés dans ce chapitre.

Hugo de Vries (UMR IATE)



▲ Refroidissement du café après torréfaction.

© J.-F. Cruz

Production et préservation de produits alimentaires de qualités organoleptique, sanitaire et nutritionnelle optimales

L'UMR « *Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité* » (UMR QualiSud, Cirad/Montpellier SupAgro/UM1/UM2) a pour objectif de développer une démarche intégrée pour la production et la préservation de produits alimentaires de qualités organoleptique, sanitaire et nutritionnelle optimales.

Les équipes principales

UMR I208 IATE
Ingénierie des Agropolymères et Technologies Émergentes
(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/UM2)
49 scientifiques

UMR IEM
Institut Européen des Membranes
(ENSCM/CNRS/UM2)
80 scientifiques

UMR QualiSud
Démarche intégrée pour l'obtention d'aliments de qualité
(Cirad/Montpellier SupAgro/UM1/UM2)
66 scientifiques

UMR SPO
Sciences pour l'œnologie
(Inra/Montpellier Supagro/UM1)
50 scientifiques

UMR SQPOV
Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale
(Inra/UAPV)
22 scientifiques

Son domaine d'étude concerne le cycle de vie de l'aliment qui s'initie dès la production de la matière première agricole jusqu'à l'impression en bouche, les effets nutritionnels et santé qu'il peut induire tout en maîtrisant les risques biologiques et chimiques. L'UMR QualiSud œuvre autour de la transformation de l'aliment, de son processus d'élaboration jusqu'à l'appréciation de sa qualité et de ses propriétés technologiques. Les mécanismes dynamiques de construction de cette qualité nécessitent une bonne connaissance de la matrice alimentaire et de son interaction avec le milieu ainsi que des procédés appliqués. Les compétences pluridisciplinaires requises pour traiter ces questions sont réunies au sein de l'unité. Le paramétrage de la qualité des produits forme un axe important des activités au sein duquel la spécificité biologique de matières premières du Sud constitue une première originalité.

L'UMR QualiSud est structurée en trois équipes de recherche :

- ❶ Déterminants de la qualité organoleptique et nutritionnelle des produits frais et transformés ;
- ❷ Maîtrise des contaminants de la chaîne alimentaire ;
- ❸ Procédés de transformation et stabilisation des produits agro-alimentaires – gestion des coproduits associés.

Ses activités de recherche sont inscrites au sein de six actions scientifiques transversales, chaque équipe coordonnant deux d'entre elles :

- ❶ Déterminants des qualités nutritionnelle et organoleptique et de l'activité biologique des produits alimentaires ;
- ❷ Mécanismes physiologiques, traitements post-récolte et élaboration de la qualité ;
- ❸ Identification de marqueurs discriminants pour assurer la traçabilité et le contrôle sanitaire des produits alimentaires ;
- ❹ Prévention et maîtrise des micropolluants – qualité sanitaire des aliments ;
- ❺ Étude des couplages entre phénomènes de transfert et réactions ;
- ❻ Étude et ingénierie des systèmes alimentaires complexes.

L'UMR QualiSud mène ses activités de recherche en partenariat avec différentes communautés scientifiques, institutions publiques ou sociétés privées implantées dans les pays du Sud, en Europe ou en France. L'UMR est présente avec des agents expatriés dans des institutions partenaires outre-mer (la Réunion, Antilles, Guadeloupe), en Amérique du Sud et en Asie (Costa Rica, Colombie, Mexique, Trinidad & Tobago, Thaïlande, Vietnam). Elle entretient des collaborations de longue date avec l'Afrique au travers de partenariats avec les universités

et centres nationaux de recherche (Bénin, Sénégal, Cameroun, Côte d'Ivoire, Égypte, Madagascar, etc.). Elle collabore avec des centres de recherche, des grandes écoles ou des universités en France et en Europe. Elle a aussi un fort partenariat privé avec des groupes industriels et des entreprises, certaines étant accueillies dans ses laboratoires (Dialpha, Phycobiotech).

Les différents laboratoires de l'UMR ont été pour la plupart regroupés en plateformes ou plateaux ouverts aux chercheurs de l'UMR et extérieurs :

- Plateformes de technologie agro-alimentaire du Cirad à Montpellier (cf. p.62) et à la Réunion ;

- Laboratoire de caractérisation physico-chimique des produits agro-alimentaires ;
- Laboratoire d'analyses sensorielles ;
- Plateaux des méthodes spectrales et chromatographiques ;
- Laboratoire qualité post-récolte de la Martinique ;
- Laboratoires de biologie moléculaire et laboratoires de microbiologie dont un P2 ;
- Laboratoires de cultures microbiennes ;
- Plateforme de pharmacologie des micronutriments, etc. ●●●

Autres équipes concernées par ce thème

UMR Moisa Marchés, Organisations, Institutions et Stratégies d'Acteurs

(Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/Ciheim-IAM.M)

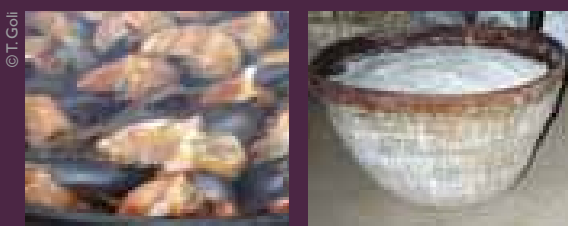
Une soixantaine de scientifiques

UMR NutriPass Prévention des Malnutritions et des Pathologies Associées

(IRD/UM2/UMI)

30 scientifiques

Étude et ingénierie des systèmes agro-alimentaires complexes



Dans les systèmes agro-alimentaires, le choix de l'itinéraire technologique est essentiel pour définir les procédés de transformation. La qualité du produit fini et les performances du procédé sont étroitement liées à cet itinéraire. Dans certains cas, le nombre élevé d'opérations unitaires mises en jeu, la multiplicité des agencements possibles ou le fort couplage des opérations unitaires entre elles, rendent complexes l'étude et l'optimisation du procédé dans sa globalité. Les contraintes liées aux matières premières et au produit fini ainsi que l'étude des impacts environnementaux sont intégrées dans la démarche qui va jusqu'à la conception d'équipements adaptés. L'activité de recherche menée par l'UMR QualiSud vise deux objectifs principaux : (i) caractériser des systèmes complexes mis en œuvre dans les pays du Sud dans une approche expérimentale progressive à plusieurs échelles et (ii) développer et proposer des méthodes ou des stratégies qui permettent d'optimiser au mieux les procédés (combinaisons d'opérations unitaires) utilisés pour répondre aux attentes et besoins des populations en matière de maîtrise du procédé et de qualité du produit fini prenant en compte les aspects nutritionnel, sanitaire et organoleptique.

Cette recherche concerne :

- des procédés innovants :
 - séparation de produits liquides d'origine végétale (jus de fruits, extraits végétaux) : clarification, concentration, fractionnement et purification de composés d'intérêt fonctionnel ;
 - élaboration de nouveaux produits à base de céréales tropicales (riz, mil, sorgho) ;
 - stabilisation microbologique et biochimique non thermique de produits alimentaires liquides.
- des procédés basés sur des savoir-faire traditionnels :
 - transformation de produits carnés (salage, fermentation, séchage, fumage) ;
 - transformation de produits amylacés tropicaux (manioc, plantain, riz).

▲ De haut en bas et de gauche à droite :
Innovations alimentaires à partir d'hibiscus dans le cadre du projet AFTER.
Fumage de Kong.
Céréales en fermentation.

Dans ce cadre, le projet européen *African Food Tradition Revisited by Research** a pour ambition d'améliorer des produits traditionnels africains et leurs savoir-faire associés en partageant des connaissances et des techniques européennes et africaines, afin d'en faire bénéficier les consommateurs et les producteurs en Afrique et en Europe. Il mobilise des partenaires de sept pays africains (Bénin, Cameroun, Ghana, Égypte, Madagascar, Sénégal, Afrique du Sud) et de quatre pays européens (France, Italie, Portugal, Royaume-Uni).

Contact : Dominique Pallet, dominique.pallet@cirad.fr

* Projet AFTER (FP7) : www.after-fp7.eu

Prévention et maîtrise des mycotoxines dans les denrées alimentaires

La contamination de denrées alimentaires par les mycotoxines est une préoccupation majeure dans le monde entier car ces toxines sont la cause de maladies ou de décès chez les humains et les animaux. Leur présence dans les denrées entraîne également des pertes économiques. Les mycotoxines sont des métabolites secondaires de certaines moisissures. Elles peuvent se développer sur les plantes à la fois au champ et au cours des traitements post-récolte sous l'influence de conditions environnementales et écologiques, contaminant des aliments très divers.

Les travaux entrepris par l'équipe « Maîtrise des contaminants de la chaîne alimentaire » de l'UMR QualiSud sur le raisin, le café, le cacao, les céréales (maïs) et la noix du Brésil, montrent l'importance d'une bonne gestion des filières pour limiter les contaminations. Ils montrent également que les traitements post-récolte sont parfois très limités, voire inefficaces, pour réduire le taux des mycotoxines du fait de leur stabilité. Il est donc nécessaire, pour la plupart des filières, d'intervenir en prévention dès le champ. Cependant, les techniques courantes de maîtrise des contaminants fongiques sont aujourd'hui insuffisantes. De plus, celles-ci sont fondées sur de larges utilisations de fongicides chimiques qui ont un impact sur l'environnement ainsi que sur la santé des intervenants et des consommateurs (résidus toxiques dans les aliments).

L'obligation de réduction progressive des produits phytosanitaires (Plan écophyto 2018) destinés aux traitements des plantes et à la désinfection des sols oriente les recherches vers des méthodes alternatives, respectueuses de l'environnement, applicables en agriculture raisonnée et compatibles avec l'agriculture biologique de plus en plus répandue.

▼ Raisin contaminé par *Aspergillus carbonarius* producteur d'Ochratoxine.



© S. Galindo

Dans ce contexte, les objectifs de recherche sont de caractériser les flores microbiennes négatives (pathogènes et d'altération) et positives (naturelles ou technologiques) ainsi que leur comportement au sein des écosystèmes alimentaires (dynamique et interactions) afin de proposer des méthodes originales pour réduire les micropolluants d'origine biologique et chimique avec :

- l'utilisation de molécules actives, de systèmes enzymatiques ou d'agents biologiques endogènes des écosystèmes ;
- l'application en traitements pré-récolte (prévention) ou lors de traitements post-récolte ou procédés fermentaires (maîtrise) ;
- la mesure de leur impact sur les concentrations en micropolluants, l'occurrence et la toxigenèse des contaminants microbiens.

Contact : Sabine Schorr-Galindo, galindo@univ-montp2.fr

P. Reiling © SQPOV



▼ Prélèvement gazeux.

Optimiser la qualité sensorielle, nutritionnelle et sanitaire des fruits et légumes transformés

L'UMR « Sécurité et Qualité des Produits d'Origine Végétale » (UMR SQPOV, Inra/UAPV) réunit des chimistes, des microbiologistes et des biochimistes autour d'un même objet : les fruits et légumes et leurs dérivés. Son objectif est de reconcevoir, dans une optique d'alimentation durable, les procédés pour les fruits et légumes transformés afin d'améliorer leur qualité nutritionnelle par des traitements de transformation calculés au plus juste tout en respectant la sécurité microbiologique de ces produits et en valorisant toute la biomasse utilisée.

L'enjeu est de mieux comprendre les déterminants de la qualité et de la sécurité des produits végétaux — spécifiquement des fruits et légumes transformés — avec un focus sur les microconstituants (structure,

quantités, valorisation) pour la qualité et, pour la sécurité, sur la réduction du risque microbiologique lié aux bactéries sporulées.

L'UMR est organisée en quatre équipes :

- L'équipe « Chimie des antioxydants » a pour objectif de mieux définir les déterminants chimiques (structures et réactivités) des bénéfiques nutritionnels des fruits et légumes.
- L'équipe « Qualité et procédés » souhaite comprendre l'impact des procédés agro-alimentaires sur ces bénéfiques nutritionnels (présence et accessibilité des micronutriments) de façon à améliorer les méthodes de transformation et optimiser le couple « matière première / procédé ».
- L'équipe « Microbiologie et sécurité alimentaire » a pour but d'identifier les risques microbiologiques pertinents et acquérir les connaissances nécessaires pour modéliser et contrôler les risques liés aux procédés de transformation.

- L'équipe « Éco-extraction de produits naturels » souhaite développer des techniques d'extraction d'ingrédients d'origine végétale respectueuses des molécules et de l'environnement.

Deux axes transversaux réunissent ces équipes :

- « Tube digestif » : à partir de ce qui est connu sur les conditions physicochimiques dans le tube digestif, il s'agit d'identifier les points-clés et de les simuler (réactivité en conditions gastriques, rôle de la matrice végétale sur la bioaccessibilité, etc.).
- « Procédés » : cet axe vise à comprendre comment la structure de la matrice végétale conditionne sa réaction dans les procédés de transformation et d'extraction (mesure des conditions physicochimiques et des conséquences).

L'UMR est engagée dans un projet d'unité mixte technologique (UMT) « Qualivég » avec le Centre Technique de la Conservation des

Produits Agricoles. Centré sur les traitements thermiques, cette UMT a pour but d'optimiser le rapport « bénéfique nutritionnel/risque microbiologique » dans la fabrication des produits appertisés* à base de fruits et légumes.

Elle collabore régulièrement avec les UMR « Ingénierie Procédés Aliments » et Mét@risk pour la modélisation, et avec l'UMR « Nutrition, Obésité et Risque Thrombotique » pour la valorisation nutritionnelle de ses travaux.

L'UMR dispose d'équipements spécifiques :

- pour l'analyse des microconstituants de végétaux (LC-MS**, HPLC avec détecteurs à barrette de diode, fluorimétriques ou à indice de réfraction, etc.), le suivi de leurs propriétés physicochimiques ;
- un laboratoire de microbiologie : microbiologie pasteurienne, analyses biochimiques et moléculaires ;
- pour l'extraction microondes et ultrasons ;

- un plateau d'analyse physique (couleur, spectrométrie, etc.) et physiologique (respiromètres, éthylène, enceintes de stockage) des fruits.

L'UMR coordonne les projets RIBENUT*** (cf. page suivante) et OPTIFEL**** et participe à de nombreux autres projets européens et nationaux. Elle bénéficie de financements de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, accueille des ingénieurs de *startup* et des thésards en collaboration avec des entreprises (conventions industrielles de formation par la recherche). ●●●

* Méthode de conservation des aliments par stérilisation dans des récipients appropriés et clos hermétiquement.

** *Liquid chromatography-mass spectrometry*

*** Projet ANR RIBENUT : Nouvelles approches pour une évaluation du compromis risque microbiologique – bénéfice nutritionnel pour les légumes traités thermiquement.

**** Projet européen OPTIFEL : Développement de produits à base de fruits et de légumes adaptés aux personnes âgées.

TEMPANTIOX

Des procédés innovants pour proposer des produits transformés à base de fruits aux qualités organoleptiques et nutritionnelles optimisées

Les produits à base de fruits représentent une part croissante de la consommation. Les procédés pour les obtenir doivent donc permettre de conserver au mieux les qualités nutritionnelles des fruits tout en étant les plus économes possible (matière première, énergie, etc.) et en s'assurant que les produits obtenus soient attractifs pour le consommateur.

Le but du projet ANR TEMPANTIOX (2008-2011) était d'améliorer la qualité et la productivité dans la transformation des fruits, et donc d'objectiver l'impact de procédés innovants sur les qualités des produits et l'efficacité des procédés. Le projet TEMPANTIOX a étudié l'impact de deux couples « produit-procédé » sur le devenir des antioxydants (polyphénols, vitamine C) et les caractères organoleptiques :

- le chauffage ohmique pour produire des desserts formulés choisis pour son effet stérilisateur équivalent pour un moindre effet cuisateur ;
- le couplage « champs électriques pulsés (choisis à partir des résultats initiaux du projet) - presse à bande » en expression des jus.

Le couplage « champs électriques pulsés (de faible puissance) – presse à bande » s'est montré efficace en gain de rendement (jusqu'à près de 5 % dans l'essai industriel), particulièrement avec des morceaux de pommes grossiers. L'électroporation causée par les champs électriques pulsés accélère l'expression des jus. La teneur en polyphénols des jus est légèrement accrue. Par contre, ce traitement, en permettant l'accès de l'oxygène aux cellules, favorise l'oxydation des polyphénols.

Le chauffage ohmique permet un échauffement instantané de la masse du produit (morceaux suspendus dans une purée ou un sirop épaissi) par effet joule. Il peut donc être utilisé pour une deuxième pasteurisation de desserts formulés par le mélange de morceaux (pêche) et d'une purée, sans que le produit soit aussi cuit que par les procédés plus classiques. Ceci a été testé en faisant varier la consistance de la purée et la proportion de morceaux. L'utilisation du chauffage ohmique permet d'avoir des morceaux plus fermes, une couleur moins brune et moins de dégradation de la vitamine C. Les produits les plus clairs ont été les plus appréciés, tandis que les avis des consommateurs ont été plus partagés concernant la proportion de morceaux et la finesse de la purée.

Contact : Catherine Renard, catherine.renard@paca.inra.fr



▲ Desserts fruitiers (morceaux de pêche en suspension dans une purée) avant pasteurisation.

L. Espinosa-Munoz © Inra

Projet RIBENUT

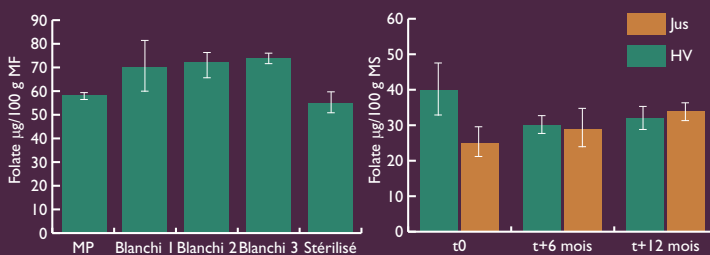
Nouvelles approches pour une évaluation du compromis risque microbiologique/bénéfice nutritionnel pour les légumes traités thermiquement

Les légumes verts, qui représentent une proportion importante des apports en folates et vitamine C pour la population française, sont consommés pour une large part après transformation. Les procédés de transformation permettent aussi d'assurer la sécurité microbiologique des produits. L'UMR SQPOV coordonne le projet RIBENUT visant à fournir aux professionnels les outils leur permettant d'améliorer leurs procédés pour préserver les vitamines tout en maîtrisant les microorganismes. Une proportion significative des folates de la matière première se maintient dans les produits finis (cf. figure ci-contre). Les pertes surviennent aux étapes de chauffage en contact avec l'air ou par diffusion en contact avec l'eau. Soumises à la chaleur dans les légumes, certaines formes de folates seraient particulièrement stables. La vitamine C est plus fragile et sensible aux résidus d'oxygène présents dans les produits finis.

Ces résultats ont été obtenus grâce à un réacteur instrumenté, conçu par le projet, permettant de contrôler la teneur en oxygène au cours des expériences. La chaleur appliquée par les procédés détruit une part des microorganismes, d'autant plus que le traitement est intense, mais les survivants se multiplient au cours de la conservation. Cette multiplication peut être limitée par l'absence d'air qui agit en synergie avec le froid. Par contre, la présence ou l'absence d'air n'a pas d'impact sur la destruction des microorganismes par la chaleur. Lors de la transformation, l'absence

d'oxygène durant les étapes de chauffage préserverait les vitamines sans réduire la destruction des microorganismes. Au cours de la conservation, l'absence d'oxygène pourrait contribuer à réduire à la fois les pertes en vitamines et la croissance des microorganismes. Enfin, réduire la diffusion des vitamines hors du légume serait indépendant du risque microbiologique. Un modèle mathématique a permis de déterminer les paramètres optimisant le compromis bénéfice/risque. À partir du modèle, un outil informatique d'aide à la décision permettra aux professionnels d'appliquer la démarche.

Contact : Christophe Nguyen-The, christophe.nguyen-the@paca.inra.fr



▲ Évolution de la concentration en folates totaux au cours de la préparation et du stockage de haricots verts appertisés.

MF : matière fraîche. MS : matière sèche. MP : matière première HV : haricots verts. Jus : jus de couverture

Comprendre les relations entre procédés d'élaboration, structures et fonctionnalités pour la qualité et la sécurité alimentaire

L'UMR « Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes » (UMR IATE, Cirad/Inra/Montpellier SupAgro/UM2) a pour objectif de mieux connaître les fonctionnalités des produits végétaux et de leurs constituants afin d'augmenter leurs performances pour des usages alimentaires et non alimentaires. Elle conduit des recherches sur les procédés physiques, physico-chimiques et biotechnologiques de transformation d'agro-molécules, d'agro-polymères ou de matrices complexes, et sur l'impact à différentes échelles de ces transformations en termes de structures et de fonctionnalités cibles. Ses activités de recherche s'articulent selon cinq axes complémentaires, pluridisciplinaires et multi-échelles :

- 1 Fractionnement des agroressources ;
- 2 Structuration sous contraintes des agropolymères et réactivité des poudres ;
- 3 Transferts de matière et réactions dans les systèmes aliment/emballage ;
- 4 Biotechnologie microbienne et enzymatique des lipides et des agropolymères ;

5 Représentation de connaissances et raisonnements pour accroître la qualité et la sécurité des aliments.

Ces axes de recherche s'intéressent aux questions de qualité et de sécurité alimentaire. Ils s'inscrivent dans une démarche d'acquisition des connaissances pour concevoir, développer et maîtriser des procédés éco-efficaces de déconstruction de la biomasse pour obtenir des matrices alimentaires avec des constituants fonctionnels, en particulier nutritionnels, et des molécules d'intérêt pour la santé.

Les recherches s'appuient sur deux plateformes et plusieurs plateaux techniques :

- La plateforme de fractionnement des produits végétaux* (humidité faible à intermédiaire) est particulièrement axée sur la première transformation des céréales et sur la mise en forme de matériaux à base d'agropolymères. Elle comporte deux plateaux thématiques, l'un consacré à la déconstruction mécanique et la classification des matières premières végétales (moulins, broyeurs, etc.) et l'autre à la structuration des matériaux par reconstruction et assemblage sous contrainte (malaxage, laminage, etc.) et à la préservation des aliments avec des technologies innovantes (haute pression, champs électriques pulsés, etc.).

- La plateforme LipPol-Green** (cf. p. 64) propose un encadrement scientifique et des instruments de très haut niveau pour des études à l'interface entre sciences du végétal et chimie verte, dans les domaines de la biotechnologie des lipides, de la physico-chimie des polymères et de l'exploration et l'utilisation de la diversité moléculaire des végétaux pour la production de molécules bioactives et de biomatériaux.

L'UMR IATE est membre de l'Institut Carnot Bioénergies, Biomolécules et Biomatériaux issus du carbone renouvelable (bioproduits) via le département « Caractérisation et élaboration des produits issus de l'agriculture » de l'Inra, de l'Institut Carnot Qualiment, du Labex Agro, de la Chaire UNESCO « Alimentations du monde », des plateformes « blé dur » et « caoutchouc » (*Hevea Research Platform in Partnership*), de l'Autorité européenne de sécurité des aliments, *European Technology Platform Food for Life*, *European Federation of Food Science & Technology*, *International association for cereal science and technology*, *EuroFatlipids*. L'UMR IATE est également impliquée dans de nombreux partenariats et réseaux, tant académiques qu'industriels, notamment avec des partenaires des pays du Sud. ●●

* <http://tinyurl.com/3bcar-pdf>

** www.supagro.fr/plantlippol-green

Produits mixtes

Assemblages de protéines végétales par structuration sous contraintes et valeur nutritionnelle

Ce sujet vise à comprendre les mécanismes physiques et physico-chimiques conduisant à la formation d'assemblages entre protéines végétales de sources différentes. Au-delà de l'intérêt scientifique, il aborde la question de la diversité alimentaire. Les modèles étudiés sont le blé dur, les légumineuses et les protéines de pommes de terre. Le projet « Pastaleg *in vitro* et *in vivo* » (2006-2012) porte sur la structuration d'une matrice alimentaire « céréale-légumineuse » et ses répercussions sur son index glycémique. La réunion de protéines de blé (déficit en lysine et thréonine) et de légumineuses (déficit en acides aminés soufrés) a permis d'enrichir un aliment en protéine et d'en améliorer la composition en acides aminés essentiels. La structure et les propriétés nutritionnelles et sensorielles de cette nouvelle matrice alimentaire, mixte, équilibrée et d'origine 100 % végétale, dépendent à la fois de sa composition et des conditions du procédé utilisé.

L'étude, pilotée par l'UMR IATE, a permis de déterminer l'impact de la structuration aux différentes échelles d'une pâte alimentaire aux légumineuses sur son indice glycémique. La structuration préalable des matrices, permettant l'obtention de structures d'intérêt nutritionnel, et leur caractérisation structurale ont été réalisées par l'UMR IATE (halle de technologie alimentaire, Montpellier SupAgro, plateforme Montpellier RIO Imaging). Ces différentes structures ont été évaluées sur un modèle humain en collaboration avec trois équipes régionales : CHU de Montpellier (CHU, équipe UMI/Inserm « Muscle et pathologies », plateau d'études nutritionnelles APANut-Santé, cf. p. 65), UMI (Laboratoire de Recherche en Biostatistique, Épidémiologie et Recherche clinique, unité de formation et de recherche de Médecine), CHU de Nîmes (service « Biostatistiques, épidémiologie clinique, santé publique et information médicale », hôpital Carêmeau). Cette étude se poursuit sur l'impact de la structure du réseau protéique de cette pâte mixte sur l'accrétion musculaire et la problématique de la sarcopénie* chez le sujet âgé, en collaboration avec l'unité de Nutrition Humaine (UMR 1019, Clermont-Ferrand).

**Contacts : Valérie Micard, micard@supagro.inra.fr
& Marie-Hélène Morel, morel@supagro.inra.fr**

* Fonte des muscles due au vieillissement ou à une maladie neurologique.



Photo non contractuelle

Melica © Shutterstock



T. Irma © Shutterstock

WHEAFI

Évaluation des propriétés anti-inflammatoires de différentes sources de fibres alimentaires du grain de blé

Les maladies cardio-vasculaires, les maladies chroniques dégénératives ou d'autres pathologies chroniques comme le syndrome métabolique ou l'obésité, sont des enjeux de santé publique. Les processus inflammatoires sont de plus en plus reconnus comme les principaux médiateurs de ces maladies. Une alimentation plus riche en glucides complexes (amidon et fibres) peut contribuer à diminuer le risque de développer ces pathologies. En France, la consommation de fibres n'arrive pas à atteindre les recommandations nutritionnelles (25 g/jour). Les produits céréaliers, un des piliers du régime alimentaire, peuvent clairement contribuer à augmenter la consommation de fibres alimentaires.

L'objectif de ce projet (dont l'UMR IATE est partenaire) vise à déterminer la capacité des produits céréaliers enrichis en fibres à réduire les processus inflammatoires chroniques dans une population en surpoids. Toutes les fibres céréalières n'ont pas le même impact nutritionnel. L'hypothèse principale de ce projet repose sur la capacité de fermentation des différentes fibres

du grain et leur aptitude à moduler la flore intestinale pour le contrôle des processus inflammatoires. Une étude clinique, avec des aliments enrichis avec différentes fibres de blé, est réalisée pour comprendre le rôle des fibres céréalières sur la réduction de maladies chroniques. Cette approche est complétée par le développement de méthodes de sélection des fibres de blé en fonction de leurs effets nutritionnels.

Ce projet de recherche fondamentale allie des partenaires académiques, des acteurs de la filière céréalière ainsi que des industriels. D'une durée de 3 ans (2011-2013), il a été sélectionné et financé par l'ANR dans le cadre du programme ALIA*. Ce projet est labellisé par les pôles de compétitivité « Céréales Vallée » et « Vitagora ».

**Contacts : Cécile Barron, cecile.barron@supagro.inra.fr
& Valérie Micard, valerie.micard@supagro.inra.fr**

* [www.agence-nationale-recherche.fr/en/ann-fund-ed-projet/tx_lwmsuivibilan_pi2\[CODE\]=ANR-10-ALIA-0010](http://www.agence-nationale-recherche.fr/en/ann-fund-ed-projet/tx_lwmsuivibilan_pi2[CODE]=ANR-10-ALIA-0010)

Clarification, purification, fractionnement et concentration de solutions alimentaires ou biologiques par procédés de séparation membranaire

S. Lacour © IEM



▲ Pilote d'électrodialyse de laboratoire instrumenté (suivi automatisé du pH de la conductivité et du débit).

Les procédés de séparation sur membrane permettent de répondre aux quatre principaux objectifs de séparation, à savoir la clarification, la concentration, la purification et l'extraction. En outre, mis en œuvre à basses températures, ils sont parfaitement adaptés pour le traitement des produits thermosensibles tels que les fluides biologiques et alimentaires. C'est pourquoi depuis plus de 20 ans, l'IEM, en collaboration avec les organismes de recherche locaux (Cirad, Inra), conduit des recherches sur le développement de procédés avancés applicables aux produits alimentaires. Ainsi des travaux réalisés dans le but d'améliorer les qualités organoleptiques et nutritionnelles des jus de fruits ont montré, d'une part, qu'il est possible de stabiliser à froid par microfiltration (MFT) des jus de fruits pulpeux tels que le jus d'orange et, d'autre part, qu'un traitement d'électrodialyse mettant en œuvre des membranes bipolaires permet de réduire l'acidité de jus de fruits tropicaux tels que le jus de fruits de la passion.

Enfin, le couplage des procédés d'osmose inverse et d'évaporation osmotique permet de concentrer des jus de fruits jusqu'à 60 brix* et ce à basse température (35°C). Par ailleurs le couplage de procédés membranaires permet la valorisation d'extraits d'origine végétale ou animale. Par exemple, la mise en œuvre d'étapes successives de MFT, d'ultrafiltration et de nanofiltration, présente une alternative intéressante aux procédés de précipitation fractionnée en présence de solvant pour la production d'oligosaccharides à partir de jus d'agave. Ces mêmes techniques ont été appliquées pour le développement d'un procédé durable de valorisation des coproduits de l'industrie de la pêche. Au lieu d'être rejetés et d'entraîner ainsi des pollutions locales, ces produits riches en protéines peuvent être hydrolysés par voie enzymatique et les peptides obtenus, fractionnés et concentrés sur la base de leur poids moléculaire.

Contacts : Marie-Pierre Belleville, marie-pierre.belleville@iemm.univ-montp2.fr & Stella Lacour, stella.lacour@iemm.univ-montp2.fr

* Mesure de la fraction de l'extrait sec soluble (i.e. saccharose) dans un jus de fruits.

Procédés membranaires pour l'agro-alimentaire

L'Institut Européen des Membranes (UMR IEM, CNRS/ENSCM/UM2), fondé en 1994, est un laboratoire de référence au niveau international dans le domaine des matériaux et procédés membranaires. Le laboratoire est organisé en trois départements :

- Design de Matériaux Membranaires et de systèmes Multifonctionnels ;
- Interfaces et Physico-chimie des Polymères ;
- Génie des Procédés Membranaires.

Ses objectifs de recherche s'articulent autour d'une approche pluridisciplinaire et multi-échelles de :

- l'élaboration et la caractérisation de nouveaux matériaux membranaires ;
- leur mise en œuvre au sein de procédés membranaires ayant notamment pour applications le traitement des effluents, la séparation de gaz, les biotechnologies en lien avec les sciences des aliments et de la santé.

Dans le domaine agro-alimentaire, les principales applications concernent le développement de procédés avancés applicables, d'une part, pour la concentration, la stabilisation ou l'amélioration des qualités organoleptiques de jus de fruits ainsi que le fractionnement et, d'autre part, pour la concentration de molécules d'intérêt (oligosaccharides, peptides bioactifs, antioxydants, etc.) à partir d'extraits d'origine animale ou végétale. Le laboratoire s'intéresse également à la conception et mise en œuvre de réacteurs enzymatiques à membrane pour l'hydrolyse de biopolymères ou encore la synthèse de composés d'intérêt. En particulier, le couplage des techniques membranaires, de la catalyse enzymatique et de la technologie des fluides supercritiques a permis le développement d'un procédé durable pour la production d'esters avec un label « naturel ».

Le laboratoire bénéficie d'un ensemble de services analytiques performants comprenant, outre les appareils classiques d'analyses chimiques (chromatographie en

phase liquide à haute performance, chromatographie en phase gazeuse couplée ou non à la spectroscopie de masse, électrophorèse), des appareillages destinés à la caractérisation des matériaux (microscopie électronique à balayage, diffraction des rayons X, diffusion de la lumière, spectroscopies Raman et infrarouge, résonance magnétique nucléaire, porosimètre à mercure, analyse thermique, etc.). Ces différentes plateformes analytiques sont également accessibles aux établissements publics et privés.

L'IEM fait partie du Pôle Chimie Balard, avec l'Institut Charles Gerhardt (UMR ICGM), l'Institut des Biomolécules Max Mousseron (UMR IBMM) et l'Institut de Chimie Séparative de Marcoule (UMR ICMSM). Dans le cadre de ses activités liées au domaine de l'agro-alimentaire, l'IEM entretient, depuis sa création, des relations privilégiées avec les organismes de recherche locaux tels que l'Inra et le Cirad et, en particulier, avec les UMR IATE, SPO et QualiSud.

Des réacteurs enzymatiques à membrane pour la synthèse d'ester ou l'hydrolyse de biopolymères

Par définition, un réacteur enzymatique à membrane (REM) résulte du couplage d'une cuve de réaction avec une unité de filtration sur membrane. On distingue d'une part les REMs à enzymes libres et, d'autre part, les REMs à membrane active. Dans le premier cas, le rôle de la membrane est d'assurer le confinement des enzymes au sein du réacteur tout en laissant passer en continu les produits de la réaction ; le biocatalyseur peut ainsi être réutilisé et les problèmes d'inhibition sont limités.

Ce type de réacteur est parfaitement adapté aux réactions impliquant des substrats et des enzymes dont les tailles sont très supérieures à celles des produits. Ce type de réacteur a été étudié au laboratoire IEM notamment pour la production de sirops de glucose à partir d'amidon ou de cellulose. Par contre, si les substrats et les produits sont de taille voisine, il est préférable d'utiliser des REMs à membranes actives. En effet, dans ce dernier cas, l'enzyme est immobilisée à la surface de la membrane et la réaction a lieu au niveau des pores lors du transfert dans la membrane. Une procédure originale de greffage des enzymes à la surface de membranes céramiques a été développée au laboratoire ; elle a été utilisée avec succès pour greffer différents types d'enzymes dont des protéases et des lipases. Grâce à la nature inorganique des supports, ces membranes actives ont été mises en œuvre dans différents milieux (solvants aqueux et



▲ Réacteur membranaire fonctionnant en conditions CO₂

organiques) et en particulier en conditions supercritiques (dioxyde de carbone supercritique, CO₂ SC). Le développement d'un procédé intégré propre et durable couplant catalyse enzymatique/membrane/CO₂ SC en vue de la synthèse d'esters et de composés d'arômes est un des thèmes de recherche appliqués au domaine de l'agro-alimentaire du laboratoire.

Contacts : Marie-Pierre Belleville,
marie-pierre.belleville@iemm.univ-montp2.fr
& **Delphine Paolucci,** Delphine.Paolucci@iemm.univ-montp2.fr

Un grand pôle international de recherche pour la filière œnologique

Les recherches menées au sein de l'UMR « *Sciences Pour l'Œnologie* » (UMR SPO, Inra/Montpellier Supagro/UMI) visent à mieux comprendre les mécanismes impliqués dans l'élaboration de la qualité du vin. Ces recherches s'articulent autour de deux axes principaux portés par deux équipes multidisciplinaires :

- 1 « Microbiologie » qui intègre les approches génomiques et post-génomiques sur la levure ainsi que la modélisation et le contrôle du procédé fermentaire ;
- 2 « Polyphénols et interactions » qui regroupe des compétences en chimie, physico-chimie, physique statistique, biochimie et biologie moléculaire.

Le premier axe s'intéresse à la physiologie intégrative des levures œnologiques et la maîtrise de la fermentation. Les levures œnologiques présentent des particularités phénotypiques uniques au sein de l'espèce *Saccharomyces cerevisiae*, qui résultent d'une sélection par l'environnement œnologique et par l'homme. Les recherches visent à comprendre les mécanismes qui participent à ces processus évolutifs et à identifier les bases moléculaires des propriétés des souches. D'autre part, le fonctionnement intégré

du métabolisme et les bases de la diversité métabolique sont étudiés. Les connaissances produites sont mobilisées pour élaborer des stratégies d'amélioration des souches. Le déroulement de la fermentation alcoolique est le résultat d'interactions entre les levures, la composition du mout et le mode de contrôle de la fermentation (actions possibles sur la température, l'addition de nutriments, etc.). L'objectif général est de décrire finement le déroulement de la fermentation alcoolique, à l'aide de systèmes de suivi en ligne, de le modéliser et d'élaborer de nouveaux modes de contrôle, afin d'optimiser la cinétique fermentaire et d'influer positivement sur les caractéristiques organoleptiques du produit.

Le deuxième axe de recherche porte sur les composés phénoliques et leurs interactions. Les composés phénoliques constituent une large famille de métabolites secondaires des végétaux. Ils jouent un rôle majeur dans la qualité des plantes et de leurs produits de transformation, soit directement, du fait de leurs propriétés intrinsèques (pigments, antioxydants, etc.), soit du fait des interactions physico-chimiques qu'ils établissent entre eux, avec d'autres biopolymères et avec les matériaux. Les recherches visent à mieux comprendre les caractéristiques structurales des constituants des fruits (composés phénoliques, poly- et oligosaccharides) et de leurs produits de transformation ainsi que les mécanismes qui

génèrent ces molécules (voies de biosynthèse, réactions intervenant lors des procédés technologiques), les mécanismes d'interactions physico-chimiques impliquant ces composés et leur incidence sur la qualité des produits ou sur l'efficacité/la sélectivité des procédés technologiques mis en œuvre. Ces connaissances sont ensuite utilisées pour élaborer de nouvelles stratégies de maîtrise des procédés technologiques (extraction, stabilisation, etc.) et développer de nouvelles applications (p. ex. nouveaux biomatériaux).

Les équipements d'intérêt collectif sont regroupés dans une plateforme analytique (plateforme IBISA*, cf. p. 64, et grand plateau technique régional) dédiée à l'analyse structurale et aux interactions des polyphénols ainsi que des plateaux techniques (salle d'analyse sensorielle, plateau d'analyse des composés volatils, salle de biotechnologie).

L'UMR SPO est l'un des grands pôles internationaux de recherche pour la filière œnologique. Des approches intégrées avec l'unité expérimentale de Pech Rouge et l'UMT Qualinnov permettent la réalisation de projets de recherche jusqu'à l'échelle pilote et préindustrielle ; cet ensemble constitue une structure sans équivalent en termes d'innovation et de transfert. ■

* Infrastructures en Biologie Santé et Agronomie : www.ibisa.net

Synthèse d'arômes lors de la fermentation œnologique

De la biologie des systèmes à la conduite des fermentations

La filière œnologique doit, de plus en plus, être capable d'adapter ses produits aux souhaits des consommateurs. Si ces souhaits sont divers, plusieurs évolutions majeures ont été observées lors des dernières années. L'une d'entre elles concerne les vins fruités et aromatiques.

La plupart des composés impliqués sont des métabolites produits au cours de la fermentation alcoolique, tels que les esters éthyliques, les alcools supérieurs et la plupart de leurs acétates, ou libérés par les activités enzymatiques de la levure à partir de précurseurs non odorants présents dans la matière première, tels que des thiols variétaux. L'étape de fermentation est donc une étape-clé pour orienter le profil aromatique des vins.

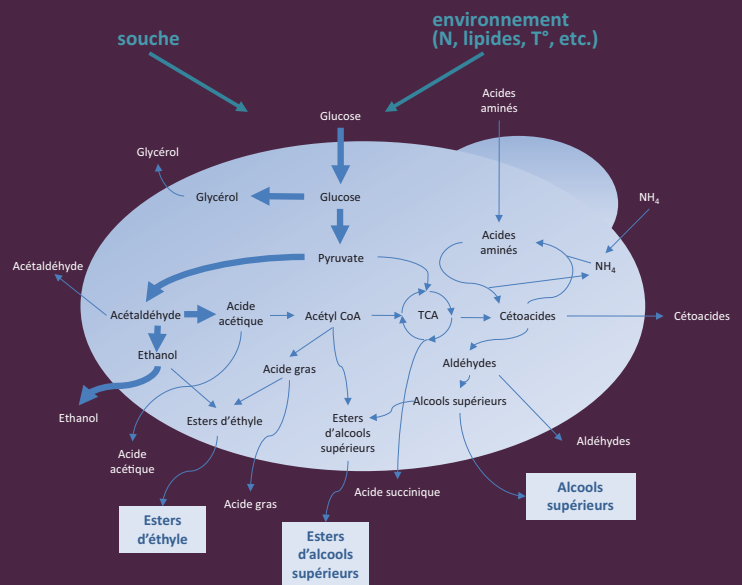
La température, les souches et espèces de levure, ainsi que la concentration et la nature des nutriments disponibles dans le milieu (azote, lipides, micronutriments) sont des facteurs essentiels. Cependant, alors que l'impact de ces paramètres sur le déroulement des fermentations a été très étudié, le manque de connaissances génériques relatives au métabolisme des arômes, ainsi qu'à sa variabilité en fonction du procédé, est actuellement un obstacle au développement d'approches innovantes.

Plusieurs travaux développés au sein de l'UMR SPO visent à la fois (i) à améliorer les connaissances relatives à l'effet de ces paramètres sur les quantités et les proportions d'arômes produites par les levures pendant la fermentation et (ii) à développer des modes de conduite (température, ajouts de nutriments) permettant d'optimiser leur formation. Les approches mises en jeu sont pluridisciplinaires (microbiologie, physiologie de levure, biologie des systèmes, ingénierie des bioprocédés, technologie, chimie analytique, analyse sensorielle) et mettent en œuvre des méthodologies de pointe (suivi en ligne

des cinétiques de synthèse des arômes, analyse quantitative et modélisation du métabolisme).

Ces travaux devraient conduire, à moyen terme, à des solutions intégrées combinant choix de la levure, de sa nutrition et de la conduite du procédé fermentaire.

Contacts : Carole Camarasa, camarasa@supagro.inra.fr & Jean-Roch Mouret, mouretj@supagro.inra.fr



▲ Schéma des voies de biosynthèse des arômes fermentaires par la levure *S. cerevisiae* en conditions œnologiques.

Remplacement du bisphénol A dans les contenants alimentaires

Le bisphénol A (BPA) est une substance chimique de synthèse utilisée depuis plus de cinquante ans et dont la production mondiale est estimée à 3,8 millions de tonnes par an. Mélange de phénol et d'acétone, le BPA entre notamment dans la composition de plastiques très résistants de type polycarbonate, qui servent à la fabrication de bonbonnes et de bouteilles d'eau réutilisables. On en trouve également dans les résines époxydes, ou vernis, qui tapissent l'intérieur des boîtes de conserve en métal, des canettes de boisson, des couvercles de bouchons ou des capsules de bouteilles.

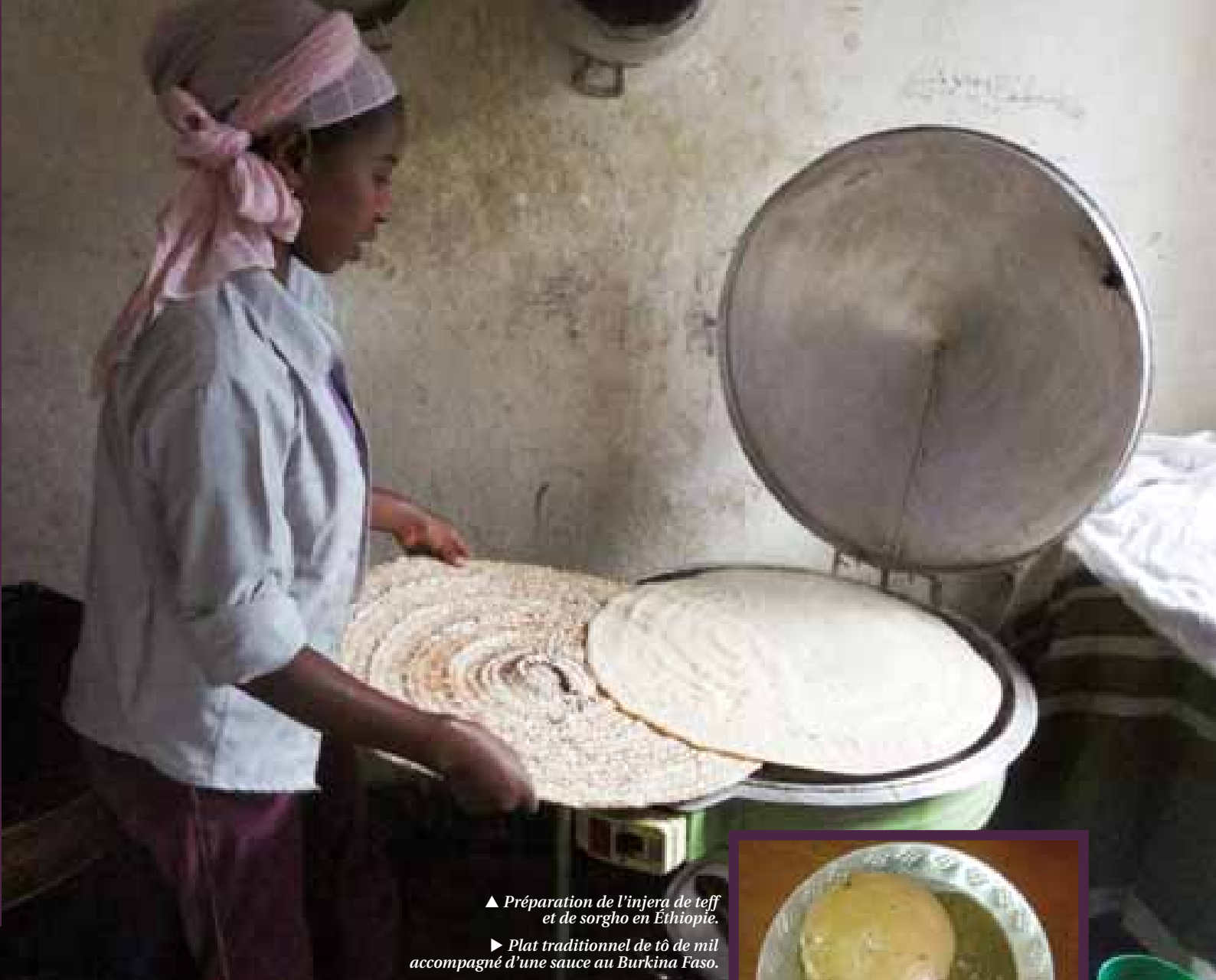
L'utilisation du bisphénol A dans la fabrication des biberons est interdite en France depuis le 1^{er} juin 2011. Par ailleurs, l'Assemblée nationale vient d'adopter une proposition de loi visant à étendre cette interdiction aux contenants alimentaires, avec prise d'effet au 1^{er} janvier 2014. Le vote de ce texte intervient quelques semaines après la publication d'un rapport de l'ANSES qui avait conclu que le BPA était suspecté d'être en cause dans l'augmentation importante, et encore non expliquée, de maladies liées au système hormonal, comme certains cancers.

Par conséquent, il est impératif de substituer le BPA par des composés qui conserveraient les mêmes caractéristiques industrielles mais dénués de propriétés hormonales. C'est dans ce contexte que se positionnent les recherches menées au sein de l'UMR SPO et qui visent à fonctionnaliser les composés phénoliques issus de la

biomasse végétale tels que les acides phénoliques, les tanins condensés et les tanins hydrolysables, pour la synthèse de résines époxy biosourcées. Des études préliminaires ont permis de démontrer l'efficacité de la catéchine (unité monomérique des tanins condensés) ainsi que celle de l'acide gallique (acide phénolique entrant dans la composition des tanins hydrolysables) dans la synthèse de résines époxy ayant de bonnes propriétés thermiques et mécaniques.

Contact : Chahinez Aouf, aouf@supagro.inra.fr

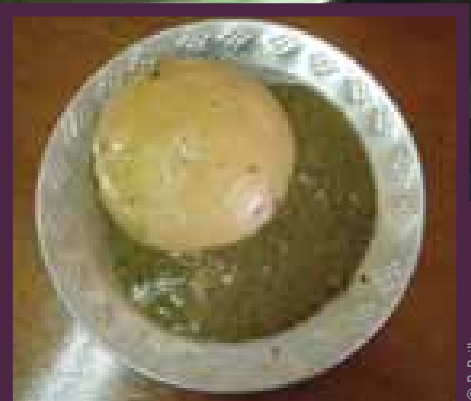




▲ Préparation de l'injera de teff et de sorgho en Éthiopie.

► Plat traditionnel de tô de mil accompagné d'une sauce au Burkina Faso.

© C. Mouquet-Rivier



© B. Baïlle

Procédés traditionnels de transformation en Afrique et biodisponibilité du fer dans les aliments traditionnels à base de céréales

La carence en fer est la première carence nutritionnelle dans le monde. L'Organisation Mondiale de la Santé estime que l'anémie touche 47 % des enfants et 42 % des femmes enceintes et l'anémie ferriprive est majoritaire. Dans ce contexte, une partie des recherches de l'UMR NutriPass visent à améliorer les teneurs et la disponibilité du fer des aliments traditionnels en Afrique, notamment *via* l'étude et l'amélioration des procédés traditionnels de transformation des céréales qui constituent la base de cette alimentation.

Les études réalisées sur différents plats à base de maïs au Bénin, de mil et de sorgho au Burkina Faso, ou encore de teff, sorgho, orge et blé en Éthiopie, mettent en évidence une augmentation drastique de la teneur en fer des produits au cours de la transformation indiquant une contamination. Ce fer de contamination provient soit du sol (Éthiopie, Burkina Faso), soit des équipements ou ustensiles utilisés pour la mouture et la cuisson (Bénin, Burkina Faso). Des mesures de biodisponibilité du fer par simulation *in vitro* des différentes étapes de digestion

montrent que la plus grande partie du fer de ces aliments contaminés est insoluble et par conséquent probablement non disponible pour l'absorption.

Dans certains cas cependant, bien que le pourcentage de fer bioaccessible par rapport au fer total diminue après transformation, la teneur en fer bioaccessible augmente, suggérant qu'une petite partie de ce fer de contamination pourrait être absorbable. Cependant, les proportions de fer intrinsèque et extrinsèque dans les produits transformés résultent de nombreuses étapes de pertes/gain par contamination et restent très difficiles à estimer.

Au final, la présence de grandes quantités de fer de contamination entraîne une surestimation de la couverture des besoins en fer alors que la biodisponibilité de ce fer est probablement très faible, bien inférieure encore à celle du fer intrinsèque des céréales.

Contacts : Claire Mouquet-Rivier, claire.mouquet@ird.fr & Christèle Icard-Vernière, christele.vernieri@ird.fr