



Schéma stratégique 2016-2020

Caractérisation et Elaboration de Produits Issus de l'Agriculture – CEPIA

Version 27 février 2017



Schéma stratégique du département CEPIA

Contexte, missions et finalités du département

Assurer la sécurité alimentaire mondiale dans des conditions de transitions et de changements globaux est identifié comme un défi majeur pour l'INRA. Or, ce défi est à considérer dans un contexte complexe caractérisé par la superposition de plusieurs phénomènes et faits majeurs qui s'entremêlent et (parfois) s'entrechoquent : le dérèglement climatique ([#Climat](#)), l'exigence du développement de systèmes alimentaires sains et durables ([#Food](#)), l'émergence de la bioéconomie, dans une logique plus générale d'économies sobres et circulaires ([#BioRes](#), [#3Perf](#), [#Global](#)).

L'action du département CEPIA (Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture), qui s'inscrit dans la partie aval des systèmes agro-alimentaires et agro-industriels, se trouve au cœur de ce défi, pour l'élaboration de produits finalisés multi-performants.

La mission principale de CEPIA est la production de connaissances permettant de construire des itinéraires de transformation de matières premières d'origine organique en produits finalisés à fonctions ciblées. Dans son domaine d'intervention, CEPIA développe des approches permettant de caractériser les matières, dans leur état initial, au cours de leur transformation et jusqu'au produit final. Il le fait à différentes échelles afin de comprendre les mécanismes qui conduisent à la création ou à la conservation de fonctions dans les produits finaux. A l'aide des connaissances sur les mécanismes de transformation de matières organiques, CEPIA développe des recherches visant à innover dans le domaine des procédés. En particulier, les activités de nos chercheurs et ingénieurs conduisent au développement de simulateurs ainsi qu'à la mise au point de nouvelles opérations unitaires et de nouveaux procédés. Enfin, pour aborder la complexité des systèmes étudiés et pour permettre des approches prédictives, le département CEPIA déploie des démarches relevant des domaines des mathématiques appliquées et de l'intelligence artificielle. En particulier, ces actions qui permettent de modéliser et simuler des processus et de développer des outils d'aide à la décision, sont mises en jeu pour raisonner la qualité des produits selon une logique de multi-performances.

Les matières premières et produits étudiés par CEPIA sont divers. Pour les filières alimentaires, les grandes catégories d'aliments sont couvertes/représentées dans nos objets de recherche (céréales, lait, œuf, produits carnés et fruits et légumes). Pour ces différentes filières, il s'agit de développer des itinéraires de transformation permettant d'élaborer des aliments de qualité. Cette notion de qualité est plurielle, couvrant à la fois les indicateurs de qualité intrinsèques à l'aliment (ex. sensorielle, nutritionnelle et sanitaire), et l'indicateur de durabilité environnementale (tenant compte des pertes et gaspillages). Pour les produits non-alimentaires, l'action de CEPIA porte sur une large gamme de coproduits de l'agriculture (ex. pailles, tiges, etc.) et des industries de transformation (ex. pulpes, rafles, tourteaux, pelures, coproduits animaux, etc.) ainsi que sur les produits du secteur forêt/bois. Pour toutes ces matières, il s'agit de concevoir des outils et procédés de transformation, notamment ceux relevant de la biotechnologie industrielle, et d'élaborer des molécules intermédiaires ou des produits finaux biosourcés. En ce qui concerne les matériaux et emballages bio-sourcés, il relève de nos missions de développer des produits répondant aux attentes en termes de fonctionnalités techniques, mais aussi en termes de durabilité et de sécurité.

Compétences et champs thématiques

Pour mener à bien sa mission, CEPIA s'appuie sur des compétences pluridisciplinaires, relevant surtout de disciplines telles que les sciences physiques et chimiques des matériaux et des polymères, la biochimie, la biologie moléculaire et les bioprocédés, ainsi que les mathématiques et l'informatique appliquées à la modélisation et à l'intégration des connaissances. Ensemble, ces compétences sont mises au service de recherches qui contribuent au développement d'une offre

alimentaire saine, sûre, accessible à tous et durable et d'une offre en bioproduits durables, fabriqués à partir de diverses sources de carbone renouvelable.

D'un point de vue organisationnel, les compétences de CEPIA se répartissent entre deux champs thématiques (CT):

CT1: Caractériser et modéliser les structures des matières premières et transformées, jusqu'aux produits finis

- Caractériser à toutes les échelles pertinentes les structures composant les matières issues de l'agriculture et ressources forestières tout au long de leur transformation;
- Décrire aux différentes échelles les réactivités des structures et identifier des marqueurs d'état;
- Développer des approches de modélisation des structures, et des méthodes de simulation permettant de prédire les évolutions de ces structures et les fonctions associées.

CT2 : Mécanismes et systèmes de transformation de matières premières en produits finis

- Créer et caractériser de nouveaux outils pour la première transformation ou le recyclage de matières premières;
- Élucider les mécanismes *in situ* des processus dynamiques;
- Concevoir des procédés intégrés de transformation des matières premières permettant de construire des produits à fonctionnalités ciblées;
- Modéliser aux différentes échelles les systèmes industriels complexes.

Défis et actions

Du point de vue opérationnel, pour la période 2016-2020 la stratégie adoptée par la direction du département se décline en deux défis dont découlent les actions majeures de recherche et d'animation scientifique.

Défi 1 Conception raisonnée de la qualité des aliments et des bioproduits

Qu'il s'agisse d'aliments ou de bioproduits, l'exigence en termes de qualité est forte et multiforme. En effet, plus que jamais le consommateur est sensible aux questions liées à la sécurité des aliments et des produits d'usage quotidien. Il est aussi de plus en plus exigeant quant à la qualité nutritionnelle et sensorielle des aliments et aux fonctionnalités diverses des produits non-alimentaires. A ces exigences du consommateur, s'ajoutent d'autres revendications de durabilité environnementale qui se traduisent, par exemple, par la réduction des pertes et gaspillages et le développement de circuits de recyclage.

Les actions proposées pour relever ce défi concernent l'élaboration de la qualité des produits et portent donc sur la nature plurielle de la qualité des aliments et bioproduits et sur les contraintes liées aux différents stades de production et d'utilisation des produits, y compris la digestion des aliments chez l'Homme ou le recyclage des produits non-alimentaires. Il est donc question d'acquérir des connaissances fines des matières premières et des produits transformés afin d'identifier et d'appréhender la variabilité et la réactivité des déterminants fonctionnels et de construire la fonctionnalité des produits selon une logique d'ingénierie reverse et de critères multiples d'usages.

Action 1 - Caractériser des matières aux différentes échelles et aux différents stades de transformation (#Food-3, #BioRes-2)

Concernant l'analyse des matières à l'état initial et au cours des transformations, il s'agit de déployer une stratégie descriptive multi-échelle et dynamique en s'appuyant (i) sur des approches haut-débit permettant de corrélérer différents niveaux d'échelle, et (ii) sur des méthodes '*in situ*'. L'objectif de cette action sera tout d'abord d'identifier aux différentes échelles les marqueurs pertinents de l'état

des matières (alimentaires et non-alimentaires). Ces marqueurs incluront notamment des molécules spécifiques de la matière transformée, des composés néoformés à identifier, des assemblages naturels fonctionnels ou fonctionnalisables à préserver, ou encore des ensembles de descripteurs recueillis sous forme d'empreintes (approche 'omique'). Ces marqueurs seront intégrés dans le but d'atteindre deux objectifs. Le premier consistera à maîtriser les sauts d'échelles : nous chercherons notamment à renforcer nos connaissances sur les potentialités physico-chimiques offertes par les interfaces, propices à des modifications ciblées, et sur les changements induits aux échelles supérieures. Le second objectif consistera à générer des modèles prédictifs généraux permettant de simuler le comportement (local ou global) de la matière sous la contrainte de procédés biologiques, chimiques et/ou physiques. La simulation des dynamiques multi-échelles au cours des transformations (phases ou cycles de déconstruction/construction) servira notamment à qualifier et quantifier les incertitudes et à apprécier la pertinence des prédictions de changements d'états induits par les couplages. Elle devra en outre être mise en relation avec les fonctionnalités recherchées pour les aliments ou bioproduits. Nos travaux permettront d'aborder les questions portant sur la variabilité et la réactivité des matières et s'appuieront sur les compétences du département dans l'étude de la modification de différentes matrices sous la contrainte d'actions enzymatiques et/ou physico-chimiques. Ils s'appuieront aussi sur les outils analytiques tels que la plateforme SOLEIL, sur les grands instruments scientifiques collectifs du département et sur des collaborations, notamment avec les départements [BAP](#) et [EA](#).

Action 2 – Concevoir la qualité et les fonctionnalités des aliments (#Food-2, #Food-3)

La qualité des aliments et les fonctionnalités associées seront étudiées en intégrant plusieurs dimensions (nutritionnelle, hédonique et sensorielle, sanitaire et environnementale), dans un contexte de transition alimentaire et de changement des pratiques et des comportements du consommateur. Le volet nutritionnel portera principalement sur des questions en lien avec la mise en place d'une offre alimentaire pour des populations spécifiques (petite enfance, personnes âgées ou en déficience nutritionnelle, etc.). Notre ambition sera d'explorer la digestion des aliments d'une manière plus systémique. Essentiellement à l'aide d'approches *in vitro* et *in silico*, ces recherches intégreront tous les compartiments du tube digestif et leurs dynamiques. Nos études aborderont plus particulièrement les interactions des aliments avec les microbiotes digestifs. Les qualités hédoniques et sensorielles des aliments sont aussi prises en compte avec pour objectif d'accéder aux processus cérébraux qui traitent l'information sensorielle complexe délivrée en bouche au cours de la consommation des aliments. Un des attendus est de pouvoir analyser et objectiver la réponse déclarative de l'individu concernant les propriétés organoleptiques de la matrice. De plus, les comportements et les pratiques du consommateur, en particulier ceux liés à l'urbanisation et au nomadisme alimentaire, seront considérés dans la conception de l'offre alimentaire. Quant à la sûreté des aliments, le développement d'une approche sans *a priori* (food-omic) fait partie de nos ambitions. Cette approche innovante permet d'identifier des marqueurs (ou empreintes). Elle sera développée pour traiter les questions de recherche portant sur le devenir des contaminants alimentaires et sur les composés néoformés. Un défi particulier consistera à déployer ces techniques pour suivre de façon dynamique l'évolution de marqueurs au cours des étapes de transformation/digestion des aliments. Enfin, la question de la qualité environnementale sera instruite en lien étroit avec les priorités de l'action 1. Le but est de prédire les propriétés des matrices alimentaires, incluant les aliments fermentés, en termes de nutrition et de santé (allergénicité, etc.). Les recherches seront menées en partenariat étroit avec les autres départements de l'INRA tels que [AlimH](#), [MICA](#), [SAE2](#) et les métaprogrammes [DID'IT](#), [MeM](#) et [GloFoods](#).

Action 3 – Concevoir la qualité et les fonctionnalités des matériaux et emballages (#BioRes-2, #Global-4)

L'élaboration de la qualité des biomatériaux et emballages, en tenant compte de l'exigence de multiperformance (performance fonctionnelle, écologique et innocuité pour l'Homme) constitue le

cœur de cette action. Il s'agira d'analyser les fonctionnalités spécifiques attendues et de les traduire en termes de relations structure-fonction. Ainsi, il sera possible d'étudier l'évolution de ces fonctionnalités au cours de l'élaboration et de l'usage des biomatériaux et, le cas échéant, dans les étapes de recyclage ou de compostage. L'action portera sur trois grandes catégories de biomatériaux (et biomolécules) et de contraintes spécifiques associées en termes de fonctionnalités :

- Les biomatériaux et les biomolécules « mimétiques/ou de substitution » de grande diffusion, comme les films de conditionnement, les produits d'entretiens, les cosmétiques, et les matériaux de construction. Il s'agit d'approfondir les enjeux liés aux propriétés mécaniques, au vieillissement, au transfert de matière, de réactivité, ou encore aux contraintes économiques (ex. coûts, approvisionnement).
- Les biomatériaux avancés à forte valeur ajoutée tels que les systèmes intelligents, actifs, communicants, auto-assemblés, adaptatifs. Il s'agit d'élucider des fonctionnalités innovantes en lien avec les matières premières et les procédés innovants de structuration (ex. nanotechnologies, RFID, etc.)
- Les matériaux au contact d'aliments comme les matériaux d'emballage et de transport. Les problèmes de sécurité sanitaire résultant de la migration de substances vers les aliments ou de l'instabilité des matériaux seront étudiés.

L'ambition de cette action est aussi d'intégrer l'étude des fonctionnalités spécifiques aux options de fin de vie de ces matériaux, comme l'aptitude au recyclage (décontamination d'un emballage, restructuration après un cycle de vie, etc.), à la biodégradation ou encore à l'incinération.

Action 4 – Elaborer des approches et des outils pour raisonner la qualité selon une logique de multi-performances (#3Perf-3, #Global-4)

Concevoir de façon raisonnée la qualité des aliments et des bioproduits implique de tenir compte de multiples dimensions : (i) qualités organoleptique, nutritionnelle et sanitaire, (ii) qualités d'usage, (iii) qualités composant la durabilité environnementale, économique et sociale. Il conviendra de définir dans un premier temps, et ce pour chacune de ces qualités, ce qu'est un bon niveau de performance et de l'exprimer en termes de caractéristiques observables visées (par exemple, la teneur en différents minéraux et vitamines, en contaminants, le temps de préparation pour le consommateur, le coût, etc.). Cela soulève des défis méthodologiques que l'on peut classer en trois types:

- Définir ce qu'est un bon niveau de performance attendu est loin d'être trivial. La question est fortement pluridisciplinaire, implique différents acteurs et doit être resituée dans le contexte de l'usage du produit (pour qui, quelle fréquence d'usage, etc.).
- Choisir et capitaliser les informations pertinentes, à savoir celles qui ont un impact sur les qualités considérées. Ces caractéristiques peuvent soit décrire le produit lui-même, soit tracer son cycle de vie, de la production jusqu'au recyclage.
- Proposer des méthodes de décision pour établir un compromis entre les différentes composantes de la qualité. En effet, celles-ci peuvent être incompatibles, ce qui implique de définir des préférences et donc d'être en mesure de proposer une échelle de valeurs des différentes qualités recherchées.

Défi 2 Développement de procédés et systèmes de production pour des produits durables

S'appuyant sur les actions décrites ci-dessus, ce défi vise à définir des trajectoires de transformation selon une logique d'éco-conception pour élaborer des produits de qualité dont les fonctions s'étendent aux aspects de performances environnementales et d'adaptation aux territoires. Pour construire ces trajectoires, nos travaux contribueront à l'établissement de bases de données et de modèles, au développement de méthodes pour apprécier les performances plurielles des procédés (productivité, performances environnementales, économiques, etc.), et au déploiement d'outils de simulation et d'aide à la décision dans un contexte d'optimisation multi-objectifs.

Action 5 – Etudier et élaborer des opérations unitaires (#Food-3, #BioRes-3)

Le développement de bioproduits, en particulier des aliments sains et durables, et la diminution des pertes et gaspillages constituent deux enjeux majeurs. Pour y répondre, il est nécessaire de concevoir de nouvelles opérations unitaires et augmenter l'éco-efficience des procédés existants, y compris à petite échelle (artisanale ou domestique).

Pour contribuer au développement d'opérations unitaires flexibles, sobres et performantes, nous proposons d'étudier la conduite de procédés et d'explorer l'intensification, la réduction d'échelle et le fonctionnement de procédés distribués. Nos travaux porteront sur la conception et l'amélioration d'opérations unitaires pour divers secteurs des industries agroalimentaires (broyage, filtration, fermentations, etc.). Ils s'appuieront sur nos connaissances des mécanismes dynamiques et des modèles pour réaliser des simulations permettant l'optimisation des opérations.

Outre les travaux ciblant des opérations physiques ou chimiques, nous étudierons, en collaboration avec [MICA](#) et dans le cadre du métaprogramme [MEM](#), les relations matrice/ferment et explorerons comment les microorganismes peuvent intervenir dans les phases d'élaboration des aliments et pendant la conservation et/ou stockage.

En ce qui concerne les biotransformations, notre action s'appuiera sur la forte expertise de CEPIA dans le domaine des biotechnologies industrielles, en particulier la découverte et l'ingénierie des enzymes et des assemblages enzymatiques, le développement et la conduite de bioprocédés et le déploiement de consortiums microbiens pour la réalisation de biotransformations. En appui au développement de la biologie de synthèse, porté essentiellement par [MICA](#), nos recherches cibleront la conception de procédés biocatalytiques et l'étude des interactions des enzymes et des microorganismes avec des substrats complexes.

Action 6 – Concevoir des procédés couplés, intégrés selon une logique d'écoconception (#3Perf-3, #Food-3, #BioRes-3)

Les procédés industriels sont rarement l'œuvre d'une seule opération ; ils résultent plutôt de couplages d'opérations unitaires et/ou font appel à des technologies hybrides dans une logique d'intensification. Par ailleurs, l'exigence d'optimisation de l'utilisation des ressources par l'introduction des principes de cascade est relativement incompatible avec un procédé à une seule opération unitaire. Enfin, dans une vision intégrée, il est nécessaire de prendre en considération les effluents et déchets générés au cours d'un procédé.

Pour aborder la question d'écoconception de procédés, nos travaux porteront sur:

- la compréhension des impacts successifs cumulés des procédés sur les performances intrinsèques (la qualité au sens large) et extrinsèques (valeur économique et impacts environnementaux) du produit dans le but d'identifier les paramètres qui affectent les performances recherchées;
- la modélisation afin d'établir des relations d'influence entre les variables opératoires du procédé et les variables d'état du produit relatives aux performances recherchées. Le développement de technologies hybrides et le couplage d'opérations unitaires génèrent des défis spécifiques en modélisation dynamique, nécessitant une approche intégrée multi-échelle de temps et de dimension dans les principes de conception des procédés;
- la mise au point méthodologique pour évaluer les performances (en particulier environnementales) des procédés, en se posant la question des allocations sur les différents coproduits obtenus. La confrontation de données obtenues à l'échelle laboratoire voire pilote avec des données aux échelles industrielles doit permettre de progresser sur l'évaluation des procédés. La mobilisation d'outils d'évaluation est ainsi nécessaire, en interaction avec les plateformes MEANS (MulticritEria AssessmEnt of Sustainability) et PLASTIC (Plateforme Logicielle pour l'Analyse des Signaux et leur Traitement, l'Intégration de données et des Connaissances);

- l'aide à la conception et à la conduite des procédés, intégrant les différentes dimensions des performances et des connaissances d'origine et de formalisme variés en vue d'une optimisation multi-objectifs.

Action 7 – Concevoir des systèmes bioéconomiques durables (#3Perf-3, #BioRes-3)

En bioéconomie, la durabilité du système repose en grande partie sur la capacité de préserver les sols pour garantir leur productivité. Cela se traduit par la nécessité d'assurer une disponibilité suffisante des ressources en eau, C, N, P et K. Ainsi, la transition vers la bioéconomie sous-entend de nouvelles organisations industrielles, notamment à l'échelle territoriale. A cette échelle, la production et la transformation de matières organiques en aliments et en bioproduits dans une logique intégrée (procédés en cascades ; bio raffineries ; produits éco-conçus ; recyclage et fin de vie) soulèvent une multitude de questions dont il faudra s'emparer: dimensionnement, fonctionnement et articulation des procédés, opportunité de générer des externalités positives (ex. services écosystémiques ou bénéfiques sociaux) ou des synergies entre différentes chaînes de valeurs.

Pour mieux aborder ces questions et *in fine* conceptualiser des "bioéconomies territoriales durables", il est nécessaire d'envisager/de concevoir, une démarche holistique. Cette démarche co-construite avec d'autres départements de l'INRA et dans le cadre des méta-programmes [Ecoserv](#) et [GloFoods](#), fera probablement appel à la capitalisation et l'agrégation de données et de savoirs existants, au développement et à l'application de nouvelles méthodes comme l'intelligence artificielle, et à la modélisation multi-échelle et multicritère.

Action transversale – Intégration de connaissances et de modèles (#Openscience-2)

Concevoir des procédés efficaces et des produits fonctionnels nécessite le développement d'approches prédictives et systémiques. Cet objectif passe obligatoirement par le développement de concepts et d'outils mathématiques et informatiques pour classer, représenter et intégrer les connaissances, pour modéliser et simuler des processus dynamiques à différentes échelles, et pour aider à la décision sous la contrainte de critères multiples.

Biologie de synthèse (#BioRes-1)

La biotechnologie industrielle est considérée comme une technologie clef pour les systèmes bioéconomiques. La biologie de synthèse apporte à la conception de biocatalyseurs (notamment souches microbiennes) une démarche d'ingénierie et la promesse d'usines cellulaires plus robustes et plus performantes, capables de transformer la biotechnologie industrielle. Cependant, pour que cette révolution technologique produise les impacts escomptés, il est crucial de doter les biocatalyseurs de fonctionnalités compatibles avec l'ensemble des contraintes d'un procédé industriel. C'est sur ce dernier aspect que CEPIA apportera son expertise pour orienter la construction de biocatalyseurs en collaboration avec les chercheurs de [MICA](#).

Microfluidique et microréactions (#Food-2, #BioRes-2)

En développement depuis une trentaine d'années, la microfluidique trouve de plus en plus d'applications, notamment pour la réalisation d'analyses à haut débit et pour l'étude de processus complexes qui sont difficilement accessibles par d'autres approches. Depuis quelques années, les chercheurs du département exploitent avec succès cette technologie, notamment pour l'étude des processus digestifs. Or, il est évident que la microfluidique peut aussi accélérer les travaux de CEPIA dans le domaine de la découverte et de l'ingénierie de protéines ainsi que pour la mise au point de nouveaux procédés. Ces travaux, déjà initiés dans le département, devraient permettre d'innover dans les bioconversions *in vitro*, en particulier *via* le développement de microréacteurs à enzymes immobilisées avec possibilité de réactions séquentielles à travers différents modules, et grâce à la biologie de synthèse.

Pour en savoir plus (organisation, unités, dispositifs et ressources) :

<http://www.cepia.inra.fr/>

<https://intranet.inra.fr/cepia/>