



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

Évaluation de l'AERES sur l'unité :

Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires

GMPA

sous tutelle des

établissements et organismes :

AgroParisTech – Institut des Sciences et Industries du

Vivant et de l'Environnement

Institut National de la Recherche Agronomique - INRA



Décembre 2013



agence d'évaluation de la recherche  
et de l'enseignement supérieur

Section des Unités de recherche

*Pour l'AERES, en vertu du décret du 3  
novembre 2006<sup>1</sup>,*

- M. Didier HOUSSIN, président
- M. Pierre GLAUDES, directeur de la section  
des unités de recherche

*Au nom du comité d'experts,*

- M. Jean-Marc ENGASSER, président du  
comité

---

<sup>1</sup> Le président de l'AERES « signe [...], les rapports d'évaluation, [...] contresignés pour chaque section par le directeur concerné » (Article 9, alinea 3 du décret n°2006-1334 du 3 novembre 2006, modifié).



# Rapport d'évaluation

Ce rapport est le résultat de l'évaluation du comité d'experts dont la composition est précisée ci-dessous.

Les appréciations qu'il contient sont l'expression de la délibération indépendante et collégiale de ce comité.

|   |  |
|---|--|
| Nom de l'unité :                          | Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires                       |
| Acronyme de l'unité :                     | GMPA   |
| Label demandé :                           | Renouvellement à l'identique   |
| N° actuel :                               | UMR 782  |
| Nom du directeur<br>(2013-2014) :         | M <sup>me</sup> Isabelle SOUCHON et M. François BOUE (depuis mai 2013) |
| Nom du porteur de projet<br>(2015-2019) : | M. François BOUE   |

## Membres du comité d'experts

|             |   |
|-------------|---|
| Président : | M. Jean-Marc ENGASSER, Université de Lorraine |
| Experts :   | M. Stéphane DELAUNAY, Université de Lorraine  |
|             | M. Jack LEGRAND, Université de Nantes         |
|             | M. Jan VAN IMPE, Leuven University, Belgium   |

Délégué scientifique représentant de l'AERES :

M. Christophe GOURDON

Représentant(s) des établissements et organismes tutelles de l'unité :

M<sup>me</sup> Monique AXELOS, CEPIA, INRA

M. Gérard CUVELIER, AgroParisTech

M. Cyril KAO (représentant de l'École Doctorale n° 435, ABIÉS)

M<sup>me</sup> Emmanuelle MAGUIN, MICA, INRA



## 1 • Introduction

### Historique et localisation géographique de l'unité

Le Laboratoire Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires (GMPA) a été créé sur le campus de Thiverval-Grignon en 1986. Il a été successivement dirigé par M. Georges CORRIEU (jusqu'en 2007), M<sup>me</sup> Michèle MARIN (2007-2008), M<sup>me</sup> Isabelle SOUCHON (2008-2013) et M. François BOUE depuis mai 2013.

Depuis 1999, le GMPA est une Unité Mixte de Recherche (UMR 782) d'AgroParisTech (Département SPAB3) et de l'INRA (Départements CEPIA et MICA).

### Équipe de direction

MM. François BOUE (Directeur), Daniel PICQUE, Eric SPINLER, Pascal BONNARME.

### Nomenclature AERES :

ST5 en principal (Sciences pour l'Ingénieur, SPI).

En secondaire :

SVE1\_LS6 Immunologie, microbiologie, virologie, parasitologie ;

SVE1\_LS1 Biologie moléculaire et structurale, biochimie.

### Effectifs de l'unité

| Effectifs de l'unité   | Nombre au 30/06/2013 | Nombre au 01/01/2015 |
|--|----------------------|----------------------|
| <b>N1</b> : Enseignants-chercheurs titulaires et assimilés                             | 12                   | 13                   |
| <b>N2</b> : Chercheurs des EPST ou EPIC titulaires et assimilés                        | 13                   | 14                   |
| <b>N3</b> : Autres personnels titulaires (n'ayant pas d'obligation de recherche)       | 29                   | 32                   |
| <b>N4</b> : Autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)                            |                      |                      |
| <b>N5</b> : Autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, Post-doctorants, visiteurs etc.) | 5                    |                      |
| <b>N6</b> : Autres personnels contractuels (n'ayant pas d'obligation de recherche)     |                      |                      |
| <b>TOTAL N1 à N6</b>   | <b>59</b>            | <b>59</b>            |



| <b>Effectifs de l'unité</b>                                 | <b>Nombre au<br/>30/06/2013</b> | <b>Nombre au<br/>01/01/2015</b> |
|---|---------------------------------|---------------------------------|
| Doctorants  | 13                              |                                 |
| Thèses soutenues  | 27                              |                                 |
| Post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité * | 12                              |                                 |
| Nombre d'HDR soutenues                                      | 4                               |                                 |
| Personnes habilitées à diriger des recherches ou assimilées | 14                              | 14                              |



## 2 • Appréciation sur l'unité

### Avis global sur l'unité

Avec le soutien de ses deux tutelles INRA et AgroParisTech, l'UMR GMPA a poursuivi sa dynamique de structuration de la recherche en ingénierie des procédés microbiens et agroalimentaires en Île-de-France. Depuis la dernière évaluation en 2007, l'unité a enregistré une forte croissance accompagnée d'un important renouvellement de son personnel : 13 départs et 23 arrivées de personnel permanent dont 6 AgroParisTech et 17 INRA. Avec un effectif fin 2013 de 57 permanents, elle constitue aujourd'hui un des principaux pôles français dans le domaine des transformations biologiques et alimentaires. Du fait de ses nombreux recrutements, GMPA est une unité jeune avec une moyenne d'âge relativement basse.

Les recrutements des dernières années lui ont permis d'élargir ses compétences. Elles couvrent aujourd'hui un spectre particulièrement large associant biologie moléculaire, microbiologie et génie microbiologique, génie des procédés, physique et physico-chimie, analyse sensorielle, mathématiques et sciences de la cognition. Cette pluridisciplinarité représente un atout certain pour une recherche innovante dans le domaine de l'ingénierie des transformations alimentaires et biologiques.

L'unité GMPA a accompagné sa croissance par une réorganisation interne. Depuis début 2013, elle est structurée en quatre thématiques : BioMiP (Bioproduits, Aliments, Micro-organismes et Procédés), EcoMic (Ecosystèmes Microbiens des Fromages), ADP (Aliment Digestion et Perception) et MALICES (Modélisation des Systèmes Alimentaires et Biologiques Complexes). Cette nouvelle organisation paraît très pertinente en termes de décloisonnement disciplinaire, de cohérence scientifique et de visibilité. Simultanément chaque thématique a œuvré pour une meilleure focalisation sur des créneaux originaux où elle peut prétendre à une position de leadership national voire européen. Une politique volontariste de projets ANR et européens multi-thématiques a aussi été mise en place pour favoriser le décloisonnement et les synergies scientifiques entre les thématiques. L'organisation est complétée par les plateformes mutualisées "Analytique" et "Ingénierie-instrumentation". L'UMR héberge également la Plateforme Logicielle pour l'Analyse des Signaux, leur Traitement et l'Intégration des données et des Connaissances (PLASTIC) commune au département CEPIA de l'INRA.

Les activités des quatre thématiques GMPA couvrent des domaines très variés : les sciences des aliments, la biophysique, l'écologie et la physiologie microbienne, le génie des procédés, la modélisation. Ensemble elles constituent un ensemble cohérent et complémentaire dans le domaine des transformations alimentaires et biologiques. Stratégiquement elles sont bien positionnées sur les enjeux industriels et sociétaux de produits innovants pour l'alimentation et la santé, de chimie verte et de développement durable. Sur ces thématiques l'unité a renforcé ses approches intégrées pluridisciplinaires et multi-échelles, associant des études expérimentales et de modélisation aux niveaux moléculaires, cellulaires et macroscopiques. Ces approches sont en phase avec les orientations actuelles de la recherche internationale dans le domaine de l'ingénierie de bioprocédés et de produits agroalimentaires.

Globalement l'UMR fait preuve d'un grand dynamisme et conduit un ensemble bien équilibré d'activités. Elle a atteint une bonne complémentarité entre des recherches amont de compréhension des processus mis en jeu et des recherches plus finalisées de développement de produits et technologies. Tout en privilégiant une forte composante expérimentale, l'UMR a aussi développé des démarches de modélisation pour certaines de ses thématiques. Les activités de l'unité s'appuient sur un important réseau de partenariats académiques et industriels. Elles bénéficient d'une forte dynamique contractuelle répartie sur des projets à dimension régionale, nationale et internationale. Elles donnent lieu à un bon niveau de production scientifique. En réponse aux recommandations de la dernière évaluation, l'unité s'est fortement investie dans l'animation scientifique interne et a développé la communication pour renforcer sa visibilité nationale et internationale.



### Points forts et possibilités liées au contexte

Le comité d'experts a relevé les points suivants :

- le dynamisme général de l'unité pour l'ensemble de ses activités de recherche, de valorisation, de formation, de communication et d'animation scientifique ;
- le spectre de compétences réunies pour mener des projets de recherche pluridisciplinaires et multi-échelles ;
- la bonne appropriation du laboratoire par l'ensemble du personnel ;
- la forte activité contractuelle auprès d'organismes publics et d'entreprises, aux niveaux régional, national et européen, qui lui assure un bon niveau d'autofinancement ;
- le réseau de partenariats avec des équipes académiques régionales, nationales et internationales et avec les industriels de l'agro-alimentaire et des bio-industries ;
- le soutien particulièrement important des deux tutelles, INRA et AgroParisTech, en terme de création de postes ;
- la qualité de la réflexion stratégique de l'unité ;
- le contexte porteur du regroupement d'AgroParisTech dans le cadre de la future Université Paris Saclay et de la nouvelle chaire en Agro Biotechnologies Industrielles.

### Points faibles et risques liés au contexte

Le comité d'experts a relevé les points suivants :

- la relative faible attractivité pour les doctorants, même si la qualité de l'encadrement est excellente ;
- le stade encore peu développé des approches d'optimisation multicritères, notamment l'absence d'évaluations de coûts de procédés et d'impacts environnementaux ;
- le risque de dispersion scientifique lié à la multitude de participations à des projets type ANR, européens et industriels ;
- l'absence, dans le projet, de programme de travail pour le prochain contrat quinquennal.

### Recommandations

Globalement le comité d'experts partage la vision stratégique proposée par l'UMR, en particulier pour ce qui concerne le développement des orientations multi-échelles intégratives et des partenariats de recherche amont. Il lui recommande :

- de rapidement décliner cette vision en un programme de travail qui précise les priorités en terme de mise au point de produits et procédés, de développement de connaissances et de méthodologies ;
- de privilégier des grands projets à long terme dans ses partenariats académiques et industriels, plutôt que de multiplier des petits projets en réponse à des sollicitations externes ;
- pour le choix de créneaux d'excellence originaux, de s'appuyer sur une analyse de positionnement par rapport aux autres unités françaises, notamment les UMR CNRS, et sur les avis d'un Conseil Scientifique associant des membres externes.

Sur le plan scientifique, en complément de ses études expérimentales, l'unité gagnerait à développer une stratégie plus structurée et ambitieuse en matière de modélisation-simulation. Les études en cours pourraient être progressivement élargies à :

- des simulations moléculaires ou des méso-modélisations simulant les interactions entre molécules ou agrégats moléculaires ;
- des modélisations macroscopiques des couplages écoulements-transferts-réactions dans les procédés étudiés, notamment des procédés microbiens ;



- des modélisations des impacts environnementaux couplés à des simulations des bilans matières et énergie des procédés.

Cette montée en puissance en modélisation-simulation devrait s'appuyer sur des partenariats avec des équipes spécialisées, notamment en génie des procédés. L'élargissement des études de modélisation permettrait à l'unité, entre autres, de faire progresser ses publications dans les journaux reconnus en génie des procédés et en génie des procédés biotechnologiques et agroalimentaires.

Le développement des approches expérimentales et théoriques de l'unité devrait s'accompagner d'une augmentation du flux de doctorants encadrés, tout en restant sélectif sur le critère qualité. Un accroissement du nombre de doctorants est compatible avec le potentiel d'encadrement de l'unité. Il répondrait à la forte demande actuelle de diplômés doctorants dans le domaine, que ce soit pour des emplois de R&D industriels, ou des postes d'enseignants-chercheurs et chercheurs. L'unité devrait aussi veiller à donner davantage la possibilité aux doctorants intéressés par les carrières académiques de se former aux tâches d'enseignement.

Au cours des prochaines années, l'unité devrait aussi chercher à encore améliorer son ouverture et attractivité internationale. Cela pourrait se faire en renforçant la participation à des réseaux ou associations scientifiques internationales, en prenant le leadership de programmes de recherche européens, et en accueillant davantage de chercheurs étrangers.

Le projet de l'unité sera piloté par une équipe de direction renouvelée. L'équipe aura à rapidement préciser les priorités du projet scientifique de l'unité, tout en poursuivant la dynamique d'animation, de communication et d'intégration disciplinaire insufflée par la précédente direction. Elle devra préparer le futur déménagement de l'unité sur Palaiseau, en renforçant le dialogue avec le personnel pour gérer les difficultés engendrées. Elle aura aussi à approfondir la réflexion sur le rapprochement avec l'unité GENIAL et sur les nouvelles opportunités de regroupement et de mutualisation apportées par la dynamique « Université Paris-Saclay », pour encore améliorer la reconnaissance et l'attractivité internationale du pôle francilien dans ce domaine d'activité.





### 3 • Appréciations détaillées

#### Appréciation sur la production et la qualité scientifiques

La production scientifique de l'unité GMPA est en progression quantitative et qualitative par rapport à l'évaluation précédente. Elle se situe autour de 1,8 articles (publications, brevets, logiciels) par enseignant-chercheur et par an, la totalité des enseignants-chercheurs et chercheurs étant "produisants". L'unité publie dans un large éventail de revues couvrant son champ disciplinaire, mais relativement peu dans les journaux de génie des procédés. Au niveau de la qualité scientifique, 75 % des publications sont dans des revues classées "excellentes". L'impact facteur moyen des revues de rang A a progressé de 2,1 à 2,8 au cours du précédent quinquennal. L'unité a aussi intensifié sa participation à des congrès, avec une augmentation de plus 50 % des communications et conférences invitées.

#### Appréciation sur le rayonnement et l'attractivité académiques

Au plan régional, l'unité GMPA est très active dans la structuration de la communauté scientifique en Île-de-France : des projets communs avec les autres unités GENIAL et MICALIS d'AgroParisTech, et l'Institut des Systèmes Complexes, une trentaine de co-publications avec les équipes franciliennes, la participation à la labellisation du projet IDEX ALIAS.

Au plan national, le rayonnement de l'unité est excellent dans son domaine d'activités : un important réseau de collaborations académiques, plus d'une dizaine de participations à des programmes ANR (dont 3 en tant que coordonnateur), la participation au réseau de laboratoires de l'Institut Carnot Qualiment, près d'une centaine de co-publications avec des équipes de recherche françaises.

Au niveau international, l'implication de l'unité est en progrès : un réseau de collaborations concrétisé par des thèses en cotutelle et plus d'une vingtaine de co-publications, la participation à 4 projets européens.

#### Appréciation sur l'interaction avec l'environnement social, économique et culturel

L'UMR s'investit beaucoup dans les partenariats industriels et les activités de transfert et de valorisation : une trentaine de projets communs avec les entreprises et centres techniques dans l'agroalimentaire et les bio-industries (Soredab, Nestlé, Firmenich, Lallemand...), de nombreuses thèses CIFRE, des transferts de logiciels et de prototypes (cellules respiratoires, digesteurs dynamiques, ...).

#### Appréciation sur l'organisation et la vie de l'unité

La nouvelle organisation de l'UMR en 4 thématiques est en bonne adéquation avec les priorités scientifiques de l'unité et améliore globalement sa lisibilité. Elle a aussi contribué au décloisonnement entre les groupes disciplinaires. Le fonctionnement interne de l'unité paraît donner satisfaction à l'ensemble du personnel. Il repose, entre autres, sur une gestion budgétaire collective, un comité de pilotage inter-thématiques et une animation scientifique qui a beaucoup progressé ces dernières années (les Discusciences toutes les quinze semaines, la journée des doctorants). GMPA a aussi amélioré sa communication externe par un site web et des fiches de présentation en français et anglais.

#### Appréciation sur l'implication dans la formation par la recherche

Les enseignants-chercheurs et chercheurs interviennent dans les formations d'ingénieurs, de masters internationaux et masters d'AgroParisTech. Pour la formation des doctorants, rattachés à l'ED ABIES n°435, l'unité GMPA est relativement sélective : 27 thèses soutenues depuis 2008 et 13 thèses en cours. Sur la base de la capacité d'encadrement, on s'attendrait à ce que ce nombre soit plus élevé. Les thèses sont accompagnées d'un bon niveau de publications. Le placement des doctorants est excellent, notamment en R&D dans le secteur privé.



## Appréciation sur la stratégie et le projet à cinq ans

Le projet de l'unité proposé par la nouvelle direction s'inscrit essentiellement dans la continuité des activités des thématiques actuelles. En même temps, l'équipe de direction a l'ambition d'élargir les compétences et thématiques et de développer les partenariats, notamment franciliens.

Le document et la présentation orale exposent clairement le schéma stratégique de l'unité pour les années à venir. Globalement il vise à consolider l'ancrage de l'UMR dans le domaine des transformations alimentaires et biologiques, en réponse à des enjeux d'alimentation-santé, de valorisation de biomasse pour la chimie, de développement durable. Cette stratégie est en phase avec les orientations prioritaires des deux tutelles de l'unité.

Au niveau méthodologique, le projet ambitionne de développer les approches multi-échelles et intégratives pour les quatre thématiques, particulièrement en intensifiant les études de compréhension des phénomènes macroscopiques par la connaissance des propriétés et mécanismes aux niveaux inférieurs d'échelle. En plus de la maîtrise des processus biologiques au niveau des cellules, le projet prévoit de développer les études de physique et de physico-chimie, par exemple sur la structure multi-échelles d'aliments, l'état physique de matrices et membranes, ou les transferts et réactions aux interfaces. Pour progresser dans ces approches multi-échelles, l'UMR compte d'abord renforcer ses compétences internes en écologie fonctionnelle, génétique des levures, éco-conception, biomécanique, modélisation, optimisation, visualisation. Mais elle développera également les partenariats scientifiques de recherche amont, en particulier dans le domaine des structures et interfaces et de la matière molle. Cette orientation sera certainement stimulée par l'arrivée du nouveau directeur de l'unité.

Dans le projet proposé, la vision stratégique très pertinente dans le domaine des transformations biologiques et alimentaires n'est, cependant, pas accompagnée d'une feuille de route spécifiant le programme de travail envisagé. Afin d'ajuster l'ambition du projet aux moyens disponibles et de maîtriser les risques inhérents de dispersion, il aurait été souhaitable que l'unité définisse, au moins dans les grandes lignes, le programme de travail de ses thématiques pour les cinq années à venir. Ainsi le projet devrait préciser et hiérarchiser les objectifs en terme de mise au point de produits et procédés, d'acquisition de connaissances, de développement de méthodologies expérimentales et d'approches de modélisation.



## 4 • Analyse thème par thème

### Thème 1 : EcoMic

Ecosystèmes Microbiens des fromages

Nom du responsable :

M. Pascal BONNARME et M<sup>me</sup> Françoise IRLINGER

Effectifs

| Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein   | Au<br>30/06/2013 | Au<br>01/01/2015 |
|---|------------------|------------------|
| ETP d'enseignants-chercheurs titulaires   | 1,9              | 2,9              |
| ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires   | 3                | 6                |
| ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.) | 2,8              | 2,8              |
| ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)   | 1                |                  |
| ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité                              | 2                |                  |
| ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants                    |                  |                  |
| ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche                    |                  |                  |
| ETP de doctorants   | 2,3              |                  |
| <b>TOTAL</b>  | 13               | 11,7             |

### • Appréciations détaillées

La composition relative à la thématique « Ecosystèmes Microbiens des fromages » (EcoMic) est globalement restée la même au cours de la période d'évaluation. Les départs enregistrés ont été compensés par les recrutements effectués au cours de cette période. Il est cependant à noter que la constitution de la thématique évoluera prochainement puisque l'intégration des membres de l'équipe Exsel de l'UMR 1319 MICALIS (3 chercheurs) est prévue en 2015.

L'objectif scientifique de la thématique EcoMic est de parvenir à une connaissance et une compréhension de l'écosystème microbien des fromages. Celui-ci est complexe en raison de la diversité importante des espèces présentes, mais également en raison de l'évolution de l'environnement physico-chimique des microorganismes au cours du procédé de transformation du lait en fromage qui modifie l'importance relative des différentes espèces microbiennes présentes. A cette finalité scientifique s'adossent des enjeux industriels ayant pour buts la maîtrise et le contrôle de l'évolution de cette population microbienne au sein de la matrice fromagère. L'objectif d'EcoMic constitue un défi important, car les espèces microbiennes présentes dans cet écosystème ne sont pas, à ce jour, identifiées de façon exhaustive. De même, les interactions entre ces différentes espèces ainsi que l'influence de ces interactions sur le produit final sont encore insuffisamment identifiées.



L'approche développée par EcoMic pour atteindre l'objectif fixé est une approche multi-échelles et ce, à deux niveaux. Tout d'abord, au niveau de l'étude de la flore microbienne avec des caractérisations au niveau métabolique, génomique, transcriptomique et métagénomique. Ensuite, au niveau de la complexité de la population microbienne considérée, avec des travaux sur des cultures pures, un fromage avec une population restreinte à seulement une dizaine d'espèces microbiennes parfaitement identifiées et caractérisées et enfin sur des fromages traditionnels. Cette approche permet à EcoMic de tendre vers une compréhension globale de l'écosystème microbien fromager d'un point de vue fonctionnalité et dynamique microbiennes. EcoMic a ainsi pu mettre en évidence l'importance de la disponibilité en fer dans l'adaptation des souches microbiennes à l'écosystème fromager. Cette importance a pu être validée, dans un premier temps, au niveau génomique puis au niveau physiologique, ce qui démontre la pertinence de l'approche globale suivie par EcoMic. Cette avancée permet également d'envisager des stratégies de contrôle de la flore microbienne par l'intermédiaire de l'apport en fer dans une matrice fromagère.

Tout en maintenant une activité forte sur les thématiques pour lesquelles les chercheurs sont reconnus depuis plusieurs années (métabolisme des composés soufrés volatils, notamment), EcoMic, au cours de la période d'évaluation, a fait le choix de fortement développer les approches génomiques. EcoMic a, pour cela, su transposer à la matrice fromagère des outils utilisés en écologie microbienne dans d'autres domaines d'applications. Cela s'est traduit par le développement de méthodologies expérimentales originales, adaptées au fromage, et par une accumulation de données dont une part importante reste, sans aucun doute, encore à valoriser.

Les perspectives scientifiques du thème EcoMic sont très ambitieuses. Outre la poursuite de l'étude des écosystèmes microbiens fromagers par l'approche globale développée au cours de la période d'évaluation (étude des flores minoritaires des fromages, identification d'autres facteurs d'adaptation des flores microbiennes au fromage), il est envisagé d'appréhender la flore microbienne du fromage dans son environnement immédiat (procédé de fabrication, salle d'affinage...) et d'évaluer l'influence de cet environnement sur son évolution. Une des autres perspectives envisagées par EcoMic est de s'intéresser au devenir des microorganismes issus des fromages dans le tractus intestinal et d'évaluer, notamment, leur pouvoir immunorégulateur.

L'activité de publication dans la thématique EcoMic est très satisfaisante avec 40 articles internationaux et 10 chapitres d'ouvrage dont 7 internationaux, en particulier. EcoMic participe, ou a participé au cours de la période d'évaluation, à 2 projets européens et 4 projets ANR. Il est également fait état de 4 contrats industriels. Cette importante relation de EcoMic avec le monde industriel se traduit également par le financement de 3 doctorants (bourse CIFRE) au cours de la période considérée soit 30% des doctorants.

## Conclusion

### ▪ *Avis global sur le thème :*

Au cours de la période d'évaluation, EcoMic a démontré sa capacité à faire évoluer ses thématiques de recherche. Elle a fait le choix et, quelque part le pari, d'accroître ses compétences dans le domaine de la génomique et de la métagénomique de la flore microbienne des fromages. Il est à noter que cette inflexion dans l'approche expérimentale ne s'est pas accompagnée d'un recul trop important de l'approche microbiologique classique. Cette volonté s'est, finalement, avérée très judicieuse. EcoMic est ainsi devenue une des rares équipes au niveau national voire international, à aborder la compréhension de l'écosystème microbien des fromages tant du niveau physiologique et métabolique que du niveau génomique. Cela constitue donc une originalité forte et pertinente cette thématique.

### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

La thématique EcoMic dispose aujourd'hui d'un panel d'approches et d'outils expérimentaux parfaitement adaptés aux particularités de la matrice alimentaire étudiée. Le choix d'aller vers une compréhension globale du fonctionnement de l'écosystème microbien apparaît comme un choix judicieux, qui devrait permettre d'obtenir une vision qui soit la plus précise possible des interactions entre les différentes composantes de la population microbienne des fromages et des conséquences de celles-ci sur l'évolution de la matrice.

Dans ce contexte, l'incorporation, prévue en 2015, de l'actuelle équipe Exsel de l'UMR MICALIS au sein d'EcoMic constitue une possibilité de croissance pertinente. Les membres respectifs collaborent de façon rapprochée depuis plusieurs années, ce qui devrait être un paramètre facilitant leur fusion. L'apport de l'équipe Exsel permettra, sans aucun doute, de renforcer l'expertise de la thématique EcoMic en génétique des levures et de préciser davantage l'importance et le rôle des levures dans l'écosystème microbien des fromages.



EcoMic présente un très bon niveau de valorisation de ses travaux de recherche. La majorité des travaux sont publiés dans les meilleurs journaux du domaine scientifique dont relève la thématique. Celle-ci entretient également un lien important avec le monde socio-économique par l'intermédiaire de plusieurs contrats avec des partenaires industriels dont certains sont des acteurs majeurs du domaine de l'industrie laitière.

▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

Le principal risque est lié à la diversité des objectifs scientifiques et l'adéquation entre ceux-ci et les moyens humains d'EcoMic. Ainsi, l'intégration dans les perspectives de la thématique de l'étude du devenir de la flore du fromage dans le tractus intestinal et, en particulier, l'évaluation du pouvoir immunorégulateur de cette flore apparaît comme une diversification importante des objectifs scientifiques qui pourrait se faire au détriment des thèmes actuellement développés. Si cet objectif peut effectivement déboucher sur des relations accrues avec les travaux de recherche développés par la thématique « Aliment, Digestion, Perception », il peut également provoquer un infléchissement des thèmes d'EcoMic vers le domaine de recherche des probiotiques, domaine dans lequel sont actuellement impliqués de nombreux laboratoires à l'échelle nationale et internationale.

▪ *Recommandations :*

Le comité d'experts recommande à EcoMic de poursuivre et de conforter l'approche globale utilisée pour comprendre le fonctionnement de l'écosystème microbien des fromages. Dans ce contexte, l'analyse des flux microbiens au cours du procédé de transformation du lait en fromage apparaît très pertinente. Cette approche pourrait cependant amener la thématique à accroître ses besoins en bioinformatique afin de valoriser au mieux les données générées. Concernant l'étude du devenir de la flore microbienne des fromages dans le tractus intestinal, une réflexion plus approfondie devrait être envisagée afin de définir les objectifs originaux ciblés.



## Thème 2 : BioMip

Bioproduits, Aliments, Micro-organismes et Procédés

Nom du responsable :

M<sup>mes</sup> Violaine ATHES et Fernanda FONSECA

Effectifs

| Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein   | Au<br>30/06/2013 | Au<br>01/01/2015 |
|---|------------------|------------------|
| ETP d'enseignants-chercheurs titulaires   | 7                | 7                |
| ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires   | 2                | 2                |
| ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.) | 3                | 3                |
| ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)   |                  |                  |
| ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité                              |                  |                  |
| ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants                    |                  |                  |
| ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche                    |                  |                  |
| ETP de doctorants   | 3                |                  |
| <b>TOTAL</b>  | 15               | 12               |

### • Appréciations détaillées

La thématique BioMiP est issue du regroupement, en début 2013, des activités des deux équipes précédentes 'Maîtrise des Bioprocédés' et 'Formulation Séparation Stabilisation'. Elle compte 7 Enseignants-Chercheurs, 2 Chargés de Recherche, 3 Techniciens de Recherche et Ingénieurs d'Etudes et 3 doctorants.

Ce regroupement de compétences couvrant la physiologie microbienne, la biophysique, le génie microbiologique et le génie des procédés, est très pertinent dans le domaine de l'ingénierie de bioprocédés. Il permet à BioMiP d'étudier et d'optimiser dans leur globalité des procédés industriels comprenant en amont une opération de fermentation microbienne et en aval des opérations de séparation, de stabilisation ou de formulation de produits. Avec l'association étroite de compétences en sciences de la vie et en génie des procédés, BioMiP poursuit également des démarches intégratives, combinant des études à différentes échelles moléculaires et macroscopiques, pour optimiser les fonctionnalités de produits et les performances des procédés.



Dans ce domaine de l'ingénierie multi-échelles de bioprocédés, les équipes constitutives de BioMiP se sont positionnées sur des créneaux de recherche originaux qui leur assurent une excellente visibilité nationale et internationale et de nombreuses retombées industrielles. La thématique la plus développée est celle de la production de bactéries lactiques, et de la préservation de leurs fonctionnalités biologiques au cours des étapes de séparation, congélation, formulation et de lyophilisation. Basées sur une compréhension fine des réponses physiques et biologiques des microorganismes aux conditions des procédés, de nouvelles conduites d'opérations de fermentation ou de stabilisation ont été développées. Les autres sujets de focalisation sont la production de composés d'arômes, et les procédés de fractionnement par distillation et technologies membranaires.

Les travaux menés par BioMiP sont à dominante expérimentale, couvrant un large spectre d'études de physiologie cellulaire, de biophysique, de biologie moléculaire, d'analyses thermodynamiques et cinétiques, et de mise en œuvre de procédés à l'échelle laboratoire. Simultanément, pour structurer les connaissances acquises ou pour aider à optimiser des procédés, BioMiP a aussi développé des approches de modélisation portant sur les équilibres liquide-vapeur de composés d'arômes, le transfert de molécules dans des procédés membranaires ou la simulation de la lyophilisation.

## Conclusion

### ▪ *Points forts et possibilités liées au contexte :*

Le comité d'experts a relevé les points suivants :

- le dynamisme général de BioMiP sur l'ensemble du spectre des activités de recherche amont, de transfert et valorisation, d'encadrement, de formation, et de communication ;
- une production scientifique régulière et de qualité dans les revues internationales ;
- un important réseau de collaboration académique aux niveaux national et international, concrétisé par des publications communes ;
- de nombreux partenariats avec les industriels français et européens de l'agro-alimentaire et des bio-industries, débouchant sur des transferts industriels de procédés, de capteurs et logiciels ;
- une forte implication dans des programmes de recherches à caractère collectif type ANR et européens ;
- grâce à la nouvelle chaire en Agro Biotechnologies Industrielles (ABI) basée sur le pôle agro-industriel de Reims-Pomacle, l'opportunité de développer une recherche ambitieuse en ingénierie de procédés de production de molécules biosourcées.

### ▪ *Points faibles et risques liés au contexte :*

Le comité d'experts a relevé les points suivants :

- l'état encore embryonnaire des analyses environnementales. Si les démarches de conduite éco-raisonnée et d'optimisation environnementale sont affichées tout au long du rapport d'activités, BioMiP n'a pas encore réalisé d'évaluation ou de modélisation précises des impacts environnementaux des procédés étudiés ;
- la relative faible attractivité pour les doctorants (3 doctorants), compte tenu de l'important potentiel d'encadrement (9 enseignants-chercheurs et chercheurs) et de la forte demande de compétences dans le domaine ;
- le manque d'analyse stratégique sur la thématique de la production de molécules biosourcées : dans le rapport ou au cours des présentations, pas de choix de molécules, de procédés et de thématiques de recherche sur la base d'une analyse des enjeux technologiques et économiques ou des verrous scientifiques.

### ▪ *Recommandations :*

Le comité d'experts recommande :

- un affichage plus ciblé des spécificités de BioMiP. Pour sa communication, BioMiP devrait choisir des mots clés plus précis et discriminants que ceux actuellement utilisés "Bioproduits, Aliments, Micro-organismes et Procédés" pour son intitulé. La thématique devrait aussi préciser son positionnement et originalité par rapport aux autres pôles de recherche français en procédés de fermentation ou en séparation/formulation de biomolécules ;



- d'approfondir l'analyse stratégique sur la thématique de la production de molécules biosourcées. Pour son projet d'avenir, BioMiP devrait approfondir sa réflexion pour le choix des sujets de recherche à privilégier pour la nouvelle thématique de valorisation d'agroressources en relation avec le pôle de compétitivité IAR. Il s'agit d'abord de finaliser le choix de biomolécules type synthons à produire et d'agroressources à transformer, sur la base d'analyses technico-économiques et de brevets et d'études de marché, et ensuite de choisir des technologies innovantes de production de ces molécules, si possible à partir d'une analyse technico-économique préliminaire. Les procédés envisagés de type 'In Situ Product Recovery' utilisant des membranes et des extractions liquide-liquide sont théoriquement intéressants pour lever des inhibitions par des produits de fermentation ou de bioconversion. Mais à l'échelle industrielle, ils sont limités par des risques de contaminations et par des surcoûts relativement importants. Pour les choix de molécules cibles et de procédé, BioMiP devrait privilégier des partenariats avec les industriels du pôle IAR ;

- de développer les approches de modélisation-simulation pour l'optimisation multicritères de procédés. Dans ses futures démarches d'optimisation multicritères de procédés intégrant les aspects technologiques, économiques et environnementaux, BioMiP devrait davantage s'appuyer sur la modélisation-simulation : en priorité des modélisations thermodynamiques et cinétiques des procédés étudiés, couplées à des inventaires matière et énergie, des dimensionnements d'équipements, et des évaluations de coûts et d'impacts environnementaux. Pour le volet environnemental, en intégrant les avancées en matière d'analyse de cycle de vie, les simulations devraient inclure un ensemble suffisamment large d'impacts environnementaux liés aux consommations de ressources, aux émissions dans l'air et l'eau, ainsi qu'aux risques de toxicité sur l'homme et l'environnement. Pour acquérir et développer ces techniques d'analyse multicritères, BioMiP gagnerait à établir des collaborations avec d'autres pôles de génie des procédés actifs sur la thématique.





### Thème 3 : ADP

Aliment, Digestion, Perception

Nom du responsable :

M<sup>mes</sup> Isabelle DELERIS et Anne SAINT-EVE

Effectifs :

| Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein   | Au<br>30/06/2013 | Au<br>01/01/2015 |
|---|------------------|------------------|
| ETP d'enseignants-chercheurs titulaires   | 1,6              | 1,6              |
| ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires   | 3,8              | 4,8              |
| ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.) | 2,7              | 2,7              |
| ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)   |                  |                  |
| ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité                              | 1                |                  |
| ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants                    |                  |                  |
| ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche                    |                  |                  |
| ETP de doctorants   | 2                |                  |
| <b>TOTAL</b>  | 11,1             | 9,1              |

### • Appréciations détaillées

La thématique « Aliment, Digestion, Perception » (ADP) s'est développée au cours de la période d'évaluation. Initialement, les chercheurs appartenaient à l'ancienne équipe « Séparation, Stabilisation, Formulation », dans laquelle les premiers travaux sur la libération et la perception des composés d'arôme en bouche en conditions de dégustation ont été réalisés. ADP s'est grandement renforcée grâce à l'appui des deux tutelles, AgroParisTech et INRA. Le thème « bouche et tube digestif » de l'ancienne équipe « Séparation, Stabilisation, Formulation » est ainsi devenu la thématique Aliment, Digestion, Perception (ADP) à la suite de la restructuration de l'unité, réalisée au cours de l'année 2012.

L'objectif d'ADP est de développer des approches expérimentales et de modélisation pour déterminer le devenir de l'aliment dans le tube digestif, de la cavité buccale au colon. Lors de la déconstruction de l'aliment (digestion), qui peut être considérée comme une cascade de procédés de transformation, des molécules ou un ensemble de molécules d'intérêt sont libérées pour donner les propriétés nutritionnelles et sensorielles de l'aliment. La structure de l'aliment est un élément à prendre en considération pour comprendre les cinétiques de mise à disposition des molécules d'intérêt. Une meilleure compréhension du devenir de l'aliment, en bouche (aspects sensoriels), et au cours de la digestion gastro-intestinale (aspects nutritionnels), constitue un enjeu important pour espérer aller vers une construction optimale de la qualité des produits alimentaires, et donc à terme développer une ingénierie inverse des aliments.



La caractérisation des propriétés sensorielles des produits alimentaires est un aspect important des travaux menés au sein de ADP. Les mesures sensorielles sont couplées à des mesures de dynamiques de libération des solutés en conditions *in vivo*. Le rôle de la déglutition sur les dynamiques de libération et de perception des composés d'arôme a été mis en évidence ; de même la dilution par la salive est le phénomène clé pour le transfert des composés d'arôme. Le développement de dispositifs *in vitro* ont aussi permis de caractériser l'étalement des produits en bouche et de montrer l'impact de la composition. L'enduction des muqueuses, qui dépend des propriétés rhéologiques des bols alimentaires, a été étudiée à l'aide d'un dispositif expérimental, réalisé en collaboration avec le laboratoire de Rhéologie de Grenoble. Des dispositifs spécifiques, couplés à des modèles de transfert de matière, ont été développés pour déterminer les coefficients de partage air/produit et les coefficients apparents de diffusion de composés d'arôme dans des matrices alimentaires complexes. Ces paramètres sont essentiels pour la modélisation des cinétiques de libération *in vivo* des composés d'intérêt. La sphère oro-sensorielle est considérée comme un « réacteur » compartimenté, avec des échanges de matière entre chaque compartiment, qui ont des volumes différents suivant leur fonction.

La thématique ADP a élargi, au cours du contrat quinquennal en cours, son champ d'investigation à la phase gastro-intestinale de la digestion. L'objectif général est le même. Il s'agit de mieux comprendre l'impact de la composition et de la structure des aliments sur les cinétiques de libération des nutriments au sein du tractus gastro-intestinal. Un prototype de digestion *in vitro*, permettant de simuler les étapes stomacales et de l'intestin grêle, a été développé par ADP en collaboration avec plusieurs unités du département CEPIA de l'INRA. Le digesteur est composé de trois compartiments (intestin, duodénum, jéjunum-iléon) de type réacteurs parfaitement agités.

Les perspectives de ADP sont de développer des modèles génériques pour des grandes classes d'aliments (produits liquides à semi-liquides, produits solides peu hydratés à hydratés), ce qui sous-entend de bien comprendre les mécanismes de déstructuration des aliments. Un dernier aspect des perspectives, en collaboration avec les thématiques EcoMic et BioMip, concerne l'interaction entre le microbiote et l'écosystème microbien de la matrice alimentaire.

L'activité de ADP est très bonne en terme de publication (on dénombre 55 publications dans des revues à comité de lecture). On peut noter que de nombreuses publications (environ la moitié) sont co-signées avec d'autres laboratoires. La thématique est ou a été impliquée dans différents programmes nationaux (ANR, FUI) et elle entretient un partenariat industriel riche et varié.

## Conclusion

### ▪ *Avis global sur le thème :*

La thématique ADP est très originale, de par son approche Génie des Procédés appliqué au devenir des aliments lors de leur consommation. La thématique étudie les mécanismes, qui contribuent aux propriétés fonctionnelles des aliments (cinétiques de mise à disposition de stimuli sensoriels et de nutriments), en lien avec la composition des aliments et leur structure. L'objectif est aussi de comprendre et de modéliser les facteurs et les mécanismes, qui sont à l'origine de la libération de molécules fonctionnelles (sensorielles et nutritionnelles), qui résultent des différentes étapes conduisant à la déstructuration et à la digestion de l'aliment, de la bouche au colon.

La démarche est interdisciplinaire, associant biophysique, physicochimie, génie des procédés, analyse sensorielle, et modélisation. Elle est appliquée aux différents stades de la consommation (du produit au digestat en passant par le bol alimentaire), pour prendre en compte les différentes étapes impliquées lors de la consommation d'un aliment.



▪ **Points forts et possibilités liées au contexte :**

ADP est sans conteste une des équipes phare au niveau mondial dans les procédés de déconstruction de l'aliment. L'originalité de la démarche réside dans une approche intégrative associant le couplage d'expérimentations et de modélisation, en liaison avec les aspects pluridisciplinaires porté par ADP. ADP a mis en place des outils originaux d'expérimentation, en particulier le prototype de digestion in vitro, et de modélisation, basés sur une analyse systémique d'un procédé complexe intégrant un ensemble de cascades réactionnelles et de mécanismes physiques. La modélisation, en interaction avec la thématique MALICES, fait partie intégrante de la démarche. La compréhension du processus de mastication et de digestion, en lien avec les propriétés de l'aliment, sa perception et la physiologie des individus (qui intervient dans les paramètres du procédé de mastication) donne une dimension très originale et multidisciplinaire à cette thématique. La production scientifique et le partenariat national et international sont très bons. ADP a un partenariat industriel de grande qualité, ce qui assure à ADP un très bon équilibre entre recherche cognitive et industrielle.

▪ **Points faibles et risques liés au contexte :**

L'un des risques principaux est l'écartèlement disciplinaire. Jusqu'où, par exemple, aller dans le domaine de la nutrition ? Est-ce que les collaborations avec des laboratoires partenaires suffiront à terme ? La libération des nutriments doit être comprise comme étant une mise à disposition de l'organisme, donc il faudra intégrer les échanges entre l'intestin et l'organisme, et à terme le métabolisme. Le principal point faible de ADP est le nombre assez faible de doctorants, rapporté au nombre de permanents.

▪ **Recommandations :**

Compte tenu de la problématique multidisciplinaire de la thématique, les collaborations avec d'autres laboratoires sont indispensables. Ces collaborations peuvent évoluer avec les matrices alimentaires choisies. Il serait souhaitable que la priorité d'ADP soit de développer le maximum de généricité, de manière à être le plus autonome par rapport aux spécialistes des produits et aussi par rapport aux nutritionnistes. Une autre recommandation serait d'étudier l'effet des microorganismes dans le digesteur (microbiote et/ou microorganismes aliments). L'augmentation du nombre d'articles dans les journaux « Chemical Engineering » serait une manière de traiter la généricité.



## Thème 4 : MALICES

Modélisation des Systèmes Alimentaires et Biologiques Complexes

Nom du responsable :

M<sup>me</sup> Nathalie PERROT et M. Ioan Cristian TRELEA

Effectifs

| Effectifs du thème en Équivalents Temps Plein  | Au<br>30/06/2013 | Au<br>01/01/2015 |
|--|------------------|------------------|
| ETP d'enseignants-chercheurs titulaires  | 1                | 1                |
| ETP de chercheurs des EPST ou EPIC titulaires  | 3,8              | 3,8              |
| ETP d'autres personnels titulaires n'ayant pas d'obligation de recherche (IR, IE, PRAG, etc.)                                | 0,8              | 0,8              |
| ETP d'autres enseignants-chercheurs (PREM, ECC, etc.)  |                  |                  |
| ETP de post-doctorants ayant passé au moins 12 mois dans l'unité   |                  |                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>ETP d'autres chercheurs des EPST ou EPIC (DREM, etc.) hors post-doctorants</li> </ul> |                  |                  |
| ETP d'autres personnels contractuels n'ayant pas d'obligation de recherche   |                  |                  |
| ETP de doctorants  | 2                |                  |
| <b>TOTAL</b>   | <b>7,6</b>       | <b>5,6</b>       |

### • Appréciations détaillées

La thématique « Modélisation des Systèmes Alimentaires et Biologiques Complexes » (MALICES) est assez jeune, multi-compétences, et sa forme s'est stabilisée en 2013. A partir des activités d'une partie de l'équipe « Maîtrise des bioprocédés », MALICES a commencé à se structurer en 2007 par le biais du projet ANR-INCALIN [intégration des connaissances et méthodes de viabilité pour maîtriser la qualité alimentaire] sur une thématique au croisement entre agro-alimentaire et mathématiques appliquées, en lien avec la communauté des Systèmes Complexes (ISCFIP). Trois chercheurs permanents ont été recrutés depuis 2008, dont 2 de cette communauté (en 2012 et 2013).

L'objectif scientifique de MALICES est de construire des représentations, des approches, des méthodes et outils pour modéliser un système alimentaire complexe et accompagner la prise de décision. La problématique de MALICES porte sur la construction de modèles in silico qui représentent la dynamique d'un système complexe alimentaire et biologique dans ces échelles et interactions. La construction de modèles in silico constitue une étape indispensable pour aider à la compréhension du système dans son ensemble, capitaliser et intégrer les expériences locales dans une vision plus systémique, pour aider à la décision. Traitement des données et connaissances hétérogènes, couplage de modèles, flexibilité des modèles construits et leurs propriétés de généralisation, interaction experts-modèles, optimisation multi-objectifs et la commande optimale constituent les mots-clés de la recherche.



En parallèle avec d'autres thématiques de l'unité, l'approche développée par MALICES pour atteindre l'objectif fixé est une approche multi-échelles. Elle s'organise selon 5 axes correspondant aux grandes étapes de la démarche méthodologique propre à cette thématique. Quant aux résultats scientifiques, les modèles développés peuvent être regroupés en deux grandes catégories : des modèles pour la connaissance, dont l'objectif est de formaliser, synthétiser, aider à comprendre, autrement dit, des modèles mécanistes (white box), et des modèles pour l'ingénierie, utilisés pour, par exemple, dimensionner, diagnostiquer, et optimiser la conduite d'un procédé, autrement dit, des modèles à complexité réduite et d'un caractère plus empirique (plutôt grey box ou même black box). Au niveau de l'Axe 1 [Recueil et formalisation d'expertise], les travaux de Malices se focalisent sur une approche de recueil d'expertise basée sur des adaptations d'approches de psychologie cognitive et sur une analyse en termes de graphes mathématiques ou de fonctions d'appartenance floues. Une première validation a été menée pour la modélisation de l'affinage de fromages (type camembert). Dans l'Axe 2 [Intégration de connaissances hétérogènes dans des modèles graphiques], l'influence mutuelle entre variables et systèmes aussi bien qualitatifs que quantitatifs est décrite à l'aide de graphes. Plus précisément, MALICES a mis en place une méthodologie générique capable (i) d'intégrer tout type de connaissances au sein du formalisme des Réseaux Bayésiens Dynamiques (RBDs), (ii) d'enrichir le modèle de manière incrémentale chaque fois qu'une nouvelle connaissance est disponible, et (iii) de prendre en compte la confiance en la source de connaissance. Cette méthodologie est validée en développant un modèle mathématique permettant de décrire et de prédire un processus d'affinage de fromage de type camembert, de l'échelle microbiologique à l'échelle du produit. La notion de couplage de modèles et formalismes [Axe 3] intervient naturellement pendant la modélisation d'un couple produit-procédé, y compris le couplage en série (chaîne d'opérations unitaires), le couplage en parallèle (processus en interaction), et le passage à l'échelle (d'un niveau microscopique à un niveau macroscopique). Un premier exemple d'application concerne la modélisation d'une émulsion d'huile dans l'eau stabilisée par des protéines laitières. Un second exemple est donné par le logiciel MATURABAY, qui est un modèle *in silico* de prédiction de l'état de maturation des baies de raisin (couplage d'un réseau Bayésien Dynamique et un modèle d'inférence floue). A présent, ce logiciel est implanté en test sur des propriétés viticoles du Val de Loire. L'optimisation [Axe 4] intervient à différents niveaux, dans la construction et l'utilisation des modèles. Dans le projet Européen DREAM, MALICES a travaillé autour de la modélisation interactive par réseau Bayésien : un algorithme évolutionnaire permet de prendre en compte des données numériques et des données empiriques (par visualisation et interaction avec l'expert). L'Axe 5 [Incertitude] concerne la difficulté à prendre en compte le caractère aléatoire, imprécis et incomplet de la connaissance dans la construction et l'utilisation des modèles, bien que des incertitudes stochastiques et épistémiques se trouvent presque partout dans le domaine agronomique. En marge de ces travaux théoriques, l'étude de la perte en masse du Camembert et du Saint Nectaire démontre que la prise en compte des incertitudes et des imprécisions peut être utile pour contrôler le procédé et permet d'améliorer la généralisation de tels modèles.

En tenant compte du fait que la structuration de Malices n'a commencé qu'en 2007 et que deux chercheurs permanents n'ont été recrutés que très récemment (2012 et 2013), l'activité de publication est très importante, comprenant 41 publications dans des revues à comité de lecture (dont 22 liées à des travaux inter-thématiques), 50 communications orales avec actes dans des congrès internationaux. MALICES a été, dès le début, fortement impliquée dans la structuration du département CEPIA sur la problématique d'intégration des connaissances. La thématique s'est inscrite dans un partenariat national et international avec des équipes fondamentales et appliquées dans le cadre de projets ANR et Européens (CAFE et DREAM) ; ce travail collectif a aussi permis le financement de 6 thèses, 5 post-doctorats et l'accueil d'un chercheur étranger du laboratoire IIM-CSIC de l'Université de Vigo en Espagne.

## Conclusion

### ▪ Avis global sur le thème :

Au cours de la période d'évaluation, MALICES s'est structurée sur une thématique au croisement entre agro-alimentaire/sciences du vivant et mathématiques appliquées/informatique, en lien fort avec la communauté des Systèmes Complexes (ISCIPIF). L'approche « Systèmes Complexes » de MALICES s'inscrit tout naturellement dans la problématique complexe de durabilité, aujourd'hui mise en avant aussi bien par l'INRA que par AgroParisTech. Si le génie chimique a su démarrer ce type de recherche, un retard est constaté dans le domaine des « agri-food systems ». MALICES travaille actuellement à la construction d'un tel projet, prenant en compte la chaîne de transformations dans son ensemble avec ses dynamiques et ses différentes échelles, ainsi que les interactions de cette chaîne au sein d'un territoire. Au cours de la période d'évaluation, la visibilité nationale et internationale a déjà atteint un niveau remarquable.



▪ **Points forts et possibilités liées au contexte :**

La thématique dispose aujourd'hui d'une stratégie de recherche quantitative parfaitement adaptée aux particularités des systèmes complexes, organisée selon 5 axes. Le couplage et réduction de modèles et de formalismes à différentes échelles, l'incorporation des incertitudes, les modèles graphiques probabilistes, l'optimisation/interaction/visualisation, et le recueil et formalisation d'expertise (de manière autonome ou supervisée) en sont les points marquants.

En se présentant comme moteur d'un thème transversal dans l'unité, MALICES devient ainsi une des rares équipes au niveau national et (de plus en plus) international, à aborder l'analyse quantitative des systèmes complexes multi-échelles, tant au niveau « méthodes et algorithmes » qu'au niveau « applications » (via des exemples et collaborations bien choisis). Cela constitue sans aucun doute une originalité forte et pertinente de MALICES.

Dans ce contexte, le futur déménagement de l'unité sur Paris-Saclay est une excellente possibilité pour MALICES d'approfondir la réflexion sur le rapprochement avec le thème transversal « Modélisation » de l'unité GENIAL, tout en gardant et renforçant son identité dans son approche mixte « méthodes et applications ».

Bien que, dans sa structuration actuelle, MALICES soit encore très jeune, elle présente déjà un très bon niveau de valorisation de ses travaux de recherche. La majorité des travaux de l'équipe sont publiés dans les meilleurs journaux du domaine scientifique. En parallèle, MALICES entretient également un lien important avec le monde socio-économique par l'intermédiaire de plusieurs journées d'étude et de démonstration pour les partenaires industriels et par le développement de logiciels.

▪ **Points faibles et risques liés au contexte :**

Le principal risque est lié à la vaste diversité d'objectifs scientifiques dans le domaine des systèmes complexes en général et vis-à-vis des mots clefs choisis. Etant donné que les moyens humains sont plutôt limités (surtout au niveau du nombre de doctorants), il serait judicieux d'approfondir et d'élargir les axes déjà abordés au lieu d'essayer de couvrir tout le champ. Des partenariats privilégiés avec des équipes en génie des procédés permettraient, entre autres, de faire progresser les publications dans les journaux reconnus en génie des procédés et en génie des procédés biotechnologiques et agroalimentaires (à présent plus ou moins 1 sur 4 au niveau des articles scientifiques à comité de lecture). Dans ce contexte, MALICES pourrait, par exemple, avancer sur les approches d'optimisation multi-critères par l'évaluation de coûts de procédés et d'impacts environnementaux.

▪ **Recommandations :**

Le comité d'experts recommande à la thématique MALICES de poursuivre ses recherches originales et méthodologiques pour l'analyse et l'optimisation de systèmes complexes alimentaires. Etant donné que les travaux n'ont commencé d'une façon structurée qu'en 2007, MALICES devrait concrétiser dans le projet sa vision assez ambitieuse en un programme de travail qui précise les priorités en terme de développement de connaissances et de méthodologies d'un part et des objets d'études d'autre part. Dans ce contexte, maintenir un équilibre entre recherches méthodologiques et travaux plus appliqués (par des collaborations internes et externes) constitue un objectif stratégique permanent et une force assez unique en même temps. La construction de l'université Paris Saclay et le futur déménagement de l'unité sur Paris-Saclay constituent une excellente opportunité pour atteindre la masse critique nécessaire à la réalisation de cet objectif, plus précisément, par la mise en place d'un partenariat avec l'UMR GENIAL et d'une animation transversale au niveau de la « Modélisation des systèmes alimentaires et biologiques » au service de l'ingénierie durable.



## 5 • Déroulement de la visite

### Date de la visite

Début : Mercredi, 18 Décembre 2013 à 8h  
Fin : Mercredi, 18 Décembre 2013 à 18h

Lieu de la visite : GMPA  
Institution : AgroParisTech  
Adresse : Avenue Lucien Brétignières  
78850 Thiverval Grignon

### Déroulement ou programme de visite

Présentation du bilan du laboratoire par la directrice sortante M<sup>me</sup> Isabelle SOUCHON et les responsables des quatre thèmes.

Présentation du projet du laboratoire par le directeur M. François BOUE.

Visite du laboratoire.

Entretiens avec :

- les représentants des tutelles AgroParisTech et INRA ;
- les assistants-ingénieurs, techniciens et gestionnaires ;
- les enseignants-chercheurs, chercheurs et ingénieurs ;
- les doctorants et post-doctorants ;
- le responsable de l'École Doctorale.

Entretien final avec l'équipe de direction.

### Points particuliers à mentionner

Le comité d'experts tient à souligner la qualité de l'accueil, des présentations et des discussions tout au long de la visite.



## 6 • Observations générales des tutelles



## **UMR Génie et Microbiologie des Procédés Alimentaires (GMPA)**

***Réf. : rapport d'évaluation AERES - S2PUR150008782 - Génie microbiologique et Procédés Alimentaires - 0753465J***

Paris, le 11 Avril 2014

### **Observations générales de l'unité sur le rapport AERES S2PUR150008782 établies en accord avec l'ensemble des tutelles**

**Sur la partie Bilan**, nous souhaitons vivement remercier collectivement le comité pour son travail d'analyse approfondi et constructif qui souligne parmi les forces de l'UMR GMPA son dynamisme pour l'ensemble de ses activités de recherche, de valorisation, de formation, de communication et d'animation scientifique. La Commission apprécie la qualité de l'analyse stratégique de l'unité et reconnaît les efforts des cinq dernières années pour réorganiser cette dernière en cohérence avec ses objectifs scientifiques. Elle émet des recommandations pertinentes qui nous seront précieuses pour le prochain quinquennat. Nous y répondons dans le paragraphe qui suit. Tout d'abord, concernant les points faibles et risques liés au contexte, ont été notés :

❖ **« la relative faible attractivité pour les doctorants, même si la qualité de l'encadrement est excellente »;**

Le ratio relativement bas en nombre de thèses/nombre d'HDR (ce dernier a augmenté de 3 en 2013) s'explique, au-delà du faible soutien institutionnel, en partie par un contexte Francilien associé à des choix de l'unité : peu de thèses sont financées par la région Ile-de-France (projets DIM (Domaine d'Intérêt Majeur) avec taux de réussite 1/10), et leur attractivité est relativement faible en grande couronne (accès lents par les transports en commun). Par ailleurs, l'Ecole Doctorale ABIES, à laquelle est rattachée l'unité, est de grande taille, avec proportionnellement très peu de contrats doctoraux du MESR (une dizaine/an). Enfin, l'unité GMPA ne souhaite pas pratiquer l'accueil d'étudiants étrangers avec des financements trop faibles. Elle souhaite aussi que les thèses de type CIFRE soient réalisées majoritairement au sein du laboratoire, de façon à en conserver les aspects académiques. L'unité trouvera pour faire progresser le nombre de doctorants des solutions administratives (compléments de bourses), par programme Européen (ITN Marie Curie), et en s'appuyant sur le tissu de recherche local dans les DIMs de la région Ile de France.

❖ **« le stade encore peu développé des approches d'optimisation multicritères, notamment l'absence d'évaluations de coûts de procédés et d'impacts environnementaux » ;**

Les capacités présentes dans l'unité sur ce thème n'ont effectivement pas pris leur plein essor. Des actions sont en cours et vont des collectes directes de données sur sites industriels à des développements méthodologiques sur les approches d'optimisation multicritères en lien avec l'équipe MALICES. Le séjour d'un jeune chercheur de l'unité (Avril-Octobre 2014), au SIK (Göteborg, Suède) pour développer ses compétences en analyse de cycle de vie (ACV) permettra de compléter de façon rigoureuse notre démarche.

❖ **« privilégier des grands projets à long terme dans ses partenariats académiques et industriels, plutôt que de multiplier des petits projets en réponse à des sollicitations externes »**

C'est un point d'attention que nous partageons avec le comité, lié à la diversification de nos réponses aux appels d'offre pour des raisons de financement. A noter qu'une partie des programmes industriels s'appuie sur la plateforme d'Ingénierie, qui est capable d'accompagner les résultats de recherche jusqu'à l'innovation, sans peser sur le travail de recherche des équipes mais au contraire en les épaulant. Il est clair qu'au-delà d'un niveau d'entrée financier suffisant, GMPA préfère se focaliser sur ses thèmes scientifiques principaux via des projets long terme qu'elle privilégiera dans ses programmes industriels.

**Sur la partie Projet,** le comité note

❖ **« l'absence, dans le projet, de programme de travail pour le prochain contrat quinquennal ».**

Le projet de l'unité décliné dans une feuille de route est en cours de construction. Il sera affiné dans les mois qui viennent. Il s'appuiera sur les trois piliers déjà présentés :

- Approche système : Ecoconception et ingénierie durable.

De façon concrète deux applications prioritaires pour l'unité ont été choisies comme support de nos démarches : i) les procédés de préservation des ferments, et ii) le couplage production – extraction. Des projets collaboratifs démarrent (Qualiment), d'autres sont déposés (ANRs - cf. annexe 12 du rapport, Europe - Topic « Proteins for the future"). Le développement de méthodes d'optimisation multicritères fait partie intégrante de nos approches éco-conception (cf. volet modélisation ci-dessous et réponse équipe MALICES).

Une animation scientifique autour du thème "ingénierie durable" sera partagée avec l'unité GENIAL dans un but collaboratif.

- Approche multi-échelles :

D'un point de vue expérimental, les échelles macro, méso et nano sur nos objets prioritaires seront explorées par des collaborations et en interne pour poursuivre notre meilleure compréhension des organisations multi-échelles, en associant la modélisation.

Aux échelles macro tout d'abord, il est clair que de nombreuses mesures seront effectuées au sein de l'unité, comme les mesures rhéologiques. S'y ajoutera un volet mesures non destructives par Ultra-sons. Aux échelles micro, au delà des mesures optiques, des mesures de microscopie plus complexes, en particulier à SOLEIL, sont en cours (thème préservation

des ferments de l'équipe Biomip) ou prévues (thème Digestion de l'équipe ADP, spectromètre DISCO, et aussi Imagerie neutron). A l'échelle nano, des demandes ont été déposées sur des spectromètres aux petits angles (SWING, SOLEIL, PACE, LLB).

L'ouverture vers de nouvelles mesures structurales impliquera des chercheurs en interne, mais également en externe, en particulier ont déjà été contactés d'une part des chercheurs d'autres unités INRA (STLO, GENIAL), et d'autre part les chercheurs spécialistes sur les plateformes (plateforme INRA/SOLEIL, LLB CEA Saclay).

- Approche mécanistique :

Au sein de chaque équipe les méthodes multi-échelles développées viseront prioritairement à comprendre : (i) les mécanismes de résistance au stress des micro-organismes au cours des procédés, au travers en particulier de celle de la membrane cellulaire, (ii) le fonctionnement de l'écosystème microbien fromager en sein de la matrice (iii) les mécanismes de transfert via l'interface dans les procédés d'extraction par contacteurs membranaires. (iv) le couplage des processus, mécanique et enzymatique, au cours de la digestion des matrices alimentaires.

- Volet Modélisation des approches :

La modélisation constitue un apport essentiel pour les trois piliers ci-dessus. Sur l'axe de l'**ingénierie durable**, l'objectif de MALICES est de confronter ses développements à des applications d'ingénierie durable et de faire évoluer les approches méthodologiques. Cela implique de simuler des systèmes intégrés pour une filière, ainsi que des approches d'optimisation/visualisation afin d'aider à la décision. Pour les systèmes complexes multi-échelles, l'équipe MALICES continuera à travailler à partir de l'échelle de l'opération unitaire pour les procédés biologiques et alimentaires. Plusieurs projets sont soumis à H2020 (Topic « Proteins for the future »), à l'ANR (Ecosystèmes fromagers: fonctions d'utilité, changements climatiques). Les choix de partenariat et d'objets ont été basés en particulier sur la disponibilité, la quantité et la qualité des données.

❖ **« pour le choix de créneaux d'excellence originaux, s'appuyer sur une analyse de positionnement par rapport aux autres unités françaises, notamment les UMR CNRS, et sur les avis d'un Conseil Scientifique associant des membres externes ».**

L'analyse de positionnement sera affinée avec l'aide du Département CEPIA, et un conseil scientifique mis en place (le principe en était proposé dans notre rapport).

❖ **« l'unité GMPA aura aussi à approfondir la réflexion sur le rapprochement avec l'unité GENIAL et sur les nouvelles opportunités de regroupement et de mutualisation apportées par la dynamique « Université Paris-Saclay ».**

Le rapprochement de l'unité avec GENIAL se construira au travers de trois animations scientifiques (cf. notre rapport) et de projets de recherche et formation co-construits en particulier dans le cadre de l'Université Paris-Saclay : i) un projet commun de halle technologique (demande faite d'équipements communs pour une plateforme de séchage), ii) des projets de recherche (ANR, Qualiment, ALIAS). Nous travaillerons également avec l'ensemble du personnel à l'organisation de notre rapprochement.

## Réponse de l'UMR GMPA aux analyses par équipe thématique:

### **Equipe EcoMic (Ecosystème Microbien des fromages)**

Nous tenons à remercier le comité d'évaluation. Le choix stratégique de notre équipe d'aborder la compréhension du fonctionnement de l'écosystème microbien des fromages par des approches physiologique, métabolique mais aussi génomique, à différentes échelles (souches pures, communautés artificielles et écosystèmes réels) a été compris et apprécié. Cela nous encourage à poursuivre ce qui constitue notre originalité et notre spécificité.

Concernant les commentaires du comité sur le projet de l'équipe, nous souhaitons lever les inquiétudes concernant le risque pour l'équipe de se disperser thématiquement.

Notre projet se déroule dans la continuité de ce qui a été initié en 2008. L'arrivée en 2015 de l'équipe Exsel et d'un enseignant chercheur APT va nous permettre de développer de nouveaux outils de biologie moléculaire applicables au contexte fromager (ex : souches transformables, TnSeq), de renforcer les travaux sur les mécanismes d'interactions microbiennes de même que sur l'adaptation des micro-organismes au milieu fromage. La valorisation optimale des données « omiques » et biochimiques générées lors des programmes ANR et MEM « ExEco » et « Ecostab » mobilise actuellement une partie de l'équipe mais également l'équipe Malice dans le cadre de développement de futurs outils de visualisation de métadonnées et de modélisation.

Concernant le point sur l'évaluation du pouvoir immunomodulateur de l'écosystème fromager, ce point a été mal compris probablement car mal présenté : nous ne souhaitons en aucun cas orienter une partie de nos activités dans ce domaine dans lequel nous ne possédons pas d'expertise. Ces études sont faites en collaboration avec des équipes expertes extérieures (ex : Institut Pasteur de Lille, MICALIS). En revanche, l'étude de la survie de la flore du fromage en lien avec l'effet matrice (avec ADP), est un facteur de connaissance fort et de transversalité dans GMPA à maintenir, voire développer.

Notre objectif est d'ouvrir l'étude de l'écosystème microbien fromager à différents environnements où la maîtrise des écosystèmes alimentaires peut avoir un impact (ex: le tube digestif, fermentation de protéines végétales). Ceci, qui est à la périphérie de notre principale question de recherche, et à l'interface de plusieurs disciplines sera construit par des collaborations, et/ou en réponse à des appels d'offre spécifiques. Nous veillerons à ce qu'elle ne mobilise qu'une faible proportion des ressources humaines de l'équipe.

### **Equipe BioMiP - Bioproduits, Aliments, Micro-organismes et Procédés**

L'équipe BioMiP adhère aux recommandations de la commission concernant le volet Conduite éco-raisonnée des procédés. Pour la prise en compte des différents impacts environnementaux de l'élaboration et de la préservation des fonctionnalités des micro-organismes, qui est une de nos priorités, la collaboration avec le SIK permettra d'identifier les étapes et facteurs critiques des procédés. Par ailleurs, notre implication au réseau EcoSD permettra d'enrichir notre réflexion sur l'éco-conception. La dimension économique sera ensuite abordée, en collaboration avec des équipes bien positionnées sur le sujet.

En ce qui concerne le choix de molécules bio-sourcées comme objets d'étude pour l'équipe, une analyse stratégique a été conduite avant le démarrage de la chaire ABI en 2012 (projet ProdExBio financé par le conseil scientifique d'AgroParisTech) afin d'identifier les synthons d'intérêt sur le plan économique, pour lesquelles nos compétences constituaient un atout pour lever les verrous existants. Cette analyse nous a conduits à travailler sur l'acide 3-hydroxypropionique, synthon d'intérêt (polyesters, dérivés acryliques), dont la production à partir de ressources renouvelables est limitée par les connaissances actuelles sur les procédés de bioconversion et de séparation. L'équipe a choisi de s'orienter vers le couplage

de procédés de production et d'extraction. Des verrous scientifiques et technologiques sont clairement à lever, ce qui en fait, à ce titre, de véritables objets de recherche. Des molécules à plus forte valeur ajoutée pourraient être considérées pour démontrer les capacités de l'équipe à ouvrir sur des applications rapides. Ces deux buts sont complémentaires dans une même volonté de partenariat industriel. Ce dernier, émergent pour l'instant, ne doit pas se limiter aux industries du pôle IAR.

Comme souligné par la commission, les approches de modélisation-simulation développées en collaboration avec l'équipe MALICES sur le procédé de lyophilisation, les équilibres liquide-vapeur et l'extraction membranaire, seront appliquées aux procédés de couplage bioconversion-extraction de molécules bio-sourcées. S'y ajoutent les approches d'optimisation multicritère des procédés d'élaboration/préservation des fonctionnalités, intégrant des aspects environnementaux, technologiques et économiques.

Nous reformulerons l'intitulé de Biomip et ses mots-clés, centré sur l'obtention de BIOPRODUITS par les PROCÉDES (grâce à l'analyse de positionnement préconisée).

### **Equipe ADP - Aliment Digestion Perception**

Les membres de l'équipe remercient la commission pour son appréciation sur la qualité et l'originalité des travaux ainsi que leur rayonnement, et sur son analyse.

- "**Risque d'écartèlement disciplinaire**" : Nous sommes conscients que le positionnement de l'équipe et la pluridisciplinarité de ses travaux peuvent induire des risques de dispersion et d'écartèlement disciplinaire. L'ouverture vers d'autres disciplines notamment la physiologie et la nutrition, nécessaire par rapport aux questions de recherche posées, n'est pas envisagée en interne mais est bien construite au travers de collaborations (CSGA, CHU Rouen, FNHH Massey University (NZ), PNCA, UNH). Le cadre de ses collaborations doit être pérenne et le projet ALIAS (Idex Saclay) en est la base.

- "**Aller vers plus de généricité**" reste effectivement une des priorités des travaux de recherche de l'équipe. La démarche déjà appliquée, basée sur l'utilisation de produits « modèles » permettant l'étude des mécanismes élémentaires, sera poursuivie. Ceci va nécessiter d'intégrer, au-delà des mécanismes physiques et mécaniques déjà pris en compte, les réactions enzymatiques et biologiques contribuant à la transformation de l'aliment lors de sa consommation. Sur ce point, il est clair que la compréhension du rôle des micro-organismes sur les cinétiques de déstructuration et de digestion de l'aliment et sur la mise à disposition des nutriments est à considérer. Les collaborations initiées, au sein de l'unité avec l'équipe Ecomic (rôle des micro-organismes de l'aliment) ou au sein du projet sur le rôle du microbiote) illustrent la volonté de l'équipe d'aller dans ce sens. Cette généricité pourra effectivement être réfléchiée par une valorisation de nos travaux, comme le propose le comité, au travers des supports de publication de type "chemical engineering", tout en veillant à maintenir une visibilité de nos résultats de recherche dans une communauté "Food and Nutrition".

### **Equipe MALICES, Modélisation des Systèmes Alimentaires et Biologiques Complexes**

Nous tenons tout d'abord à remercier les experts pour cette analyse approfondie et très fine de notre travail d'équipe, qui donne énergie et enthousiasme..

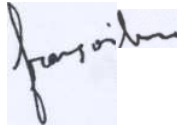
Nous sommes conscients de l'enjeu de notre approche combinant recherche méthodologique et applications et des difficultés associées. Nous serons particulièrement vigilants pour maintenir cet équilibre. De même, compte tenu de notre petite taille nous fixerons des priorités, en particulier en termes d'applications.

Concernant l'axe méthodologique, nous croyons qu'il est important de poursuivre l'exploration/émulation créative afin de laisser émerger des combinaisons d'approches et des développements méthodologiques pertinents au regard de nos applications.

Pour l'axe applicatif, environ 5 projets en construction avec des partenaires qui portent les applications visent : les écosystèmes biologiques (projet ANR, cf. ci-dessus, et COST associé), la durabilité des filières alimentaires (projet H2020), et la durabilité des procédés de stabilisation avec l'équipe Biomip. Ils impliquent une reconstruction multi-échelles.

Ce sont des applications où les connaissances et les données sont disponibles en quantités suffisantes, et où les équipes du domaine appliqué ont un intérêt fort pour la modélisation.

Au delà de ces aspects, nous chercherons également à renforcer l'équipe afin d'avoir une taille critique. Enfin, pour compenser la difficulté de recrutement de doctorants et postdocs en mathématiques appliquées et informatique, nous nous impliquerons dans des thématiques où l'enjeu citoyen est fort.



François Boué  
Directeur de l'unité GMPA  
En accord avec l'ensemble des tutelles