

# PRESSE Dossier

## Lauriers 2017 de l'Inra : de l'excellence scientifique à l'innovation

Paris, lundi 13 novembre 2017



**INRA**  
SCIENCE & IMPACT

Conférence de presse, 13 novembre 2017

Lauriers 2017 de l'Inra : de l'excellence scientifique à l'innovation

[www.inra.fr](http://www.inra.fr)



## SOMMAIRE

### **I - Les intervenants (p.4)**

### **II - Le palmarès 2017 des Lauriers de l'Inra (p.7)**

### **III - Nathalie Gontard, Laurier Défi scientifique 2017 (p.9)**

- 1) L'emballadeuse (extrait de la plaquette des Lauriers de l'Inra 2017)
- 2) L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions
- 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures :
  - Retour sur Ecobiocap : un programme pionnier pour une nouvelle génération d'emballage
    - Des barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agroalimentaires
    - Un outil d'aide à la décision pour le choix d'un emballage
  - Le projet NoAW (*No Agricultural Waste*)

### **IV - Nicolas Bernet pour le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Laurier collectif Impact de la recherche 2017 (p.15)**

- 1) Les déchets en valeur (extrait de la plaquette des Lauriers de l'Inra 2017)
- 2) Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement et ses thématiques de recherche
- 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures :
  - Un premier cas documenté de parasitisme électronique entre microorganismes
  - Risques microbiologiques et méthanisation : devenir des pathogènes lors du stockage des digestats
  - Valorisation des déchets organiques dans la communauté d'agglomération de Narbonne : exemple de construction d'un partenariat Public-Privé
  - Contribution à la création de Naskeo et BioEnTech

### **V - Joël Doré, Grand prix de la Recherche agronomique 2017 pour l'excellence de sa carrière (p.21)**

- 1) La fibre collective (extrait de la plaquette des Lauriers de l'Inra 2017)
- 2) Microbiote, la révolution intestinale
- 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures :
  - Microbiote intestinal humain, vers un protocole standardisé de traitement des échantillons de selles
  - Une nouvelle molécule anti-inflammatoire provenant d'une bactérie de l'intestin
  - Diabète : quand le microbiote fait de la résistance à l'insuline
  - Pauvre ou riche (en bactéries) : pas tous égaux face aux maladies liées à l'obésité
  - Contribution à la création des startup Enterome et MaaTPharma

**Contact : Service de presse de l'Inra, [presse@inra.fr](mailto:presse@inra.fr) - 01 42 75 91 86**

## I - Les intervenants



**Philippe Mauguin**  
**Président-directeur général de l'Inra**



**Nathalie Gontard**  
**Laurier Défi scientifique 2017**

Directrice de recherche Inra à l'unité « Ingénierie des agro-polymères et technologies émergentes » (centre Inra Occitanie-Montpellier), Nathalie Gontard a rejoint l'Inra en 2011. Elle a à son actif plus de 170 publications et peut se prévaloir de 500 citations en 2016 et de 10 années d'expertise auprès de l'EFSA et de la Commission européenne. Ancrée dans une stratégie d'économie circulaire, sa recherche se focalise sur des approches intégratives et multidisciplinaires pour améliorer la soutenabilité des emballages alimentaires et résoudre les problèmes engendrés par les plastiques d'origine pétrochimique. Elle développe des modèles mathématiques couplant la structure de bio-plastiques innovants, le transfert de masse entre aliment et emballage, et la préservation de la sécurité et de la qualité des aliments. Ses travaux se traduisent par exemple par la mise au point de nouveaux emballages plus écologiques issus de ressources renouvelables non alimentaires et biodégradables en conditions naturelles.

Nathalie Gontard : T. 04 99 61 30 02 – [nathalie.gontard@inra.fr](mailto:nathalie.gontard@inra.fr)  
Unité « Ingénierie des Agropolymères et Technologies Emergentes »  
Inra-Cirad-Université Montpellier II-SupAgro Montpellier  
Département scientifique « Caractérisation et Elaboration des Produits Issus de l'Agriculture »  
Centre Inra Occitanie-Montpellier



© Inra - Bertrand Nicolas

**Nicolas Bernet, pour le LBE**  
**Laurier collectif Impact de la recherche agronomique 2017**

Directeur de recherche Inra au Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement (centre Inra Occitanie-Montpellier), Nicolas Bernet a été recruté à l'Inra en 1992. Il mène des recherches sur les bioprocédés microbiens pour le traitement et la valorisation des eaux usées et des résidus solides. Depuis 2009, sa principale thématique de recherche porte sur les systèmes bio-électrochimiques qui mettent en œuvre des bactéries capables d'échanger des électrons avec des électrodes. Il a à son actif 140 publications et plus de 3000 citations, dont 450 en 2016. Il est directeur du LBE depuis le début de l'année 2017.

Nicolas Bernet : T. 04 68 42 51 74 – [nicolas.bernet@inra.fr](mailto:nicolas.bernet@inra.fr)  
 Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement  
 Départements scientifiques « Environnement et Agronomie »  
 et « Microbiologie et Chaîne Alimentaire »  
 Centre Inra Occitanie-Montpellier



© Inra - Bertrand Nicolas

**Joël Doré**  
**Grand prix de la Recherche agronomique 2017**

Directeur de recherche Inra à l'unité « Microbiologie de l'alimentation au service de la santé » et directeur scientifique de Métagénopolis, démonstrateur pré-industriel (Centre Inra Ile-de-France – Jouy-en-Josas), Joël Doré est un des pionniers des recherches sur le microbiote intestinal. Il s'est notamment intéressé aux conditions dans lesquelles se rompt la relation de symbiose entre un individu et son microbiote et les incidences sur la survenue de dérèglements tels que l'obésité ou le diabète. Sa position de leader international sur le sujet est attestée par 120 publications dans les dix dernières années, qui ont été collectivement citées plus de 1000 fois par an sur les cinq dernières années. Joël Doré se préoccupe également de transférer les résultats de ses recherches en

innovation médicale. Il est à l'origine de la création de deux entreprises de biotechnologie qui proposent des approches thérapeutiques innovantes et connaissent une croissance commerciale intéressante.

Joël Doré : T. 01 34 65 27 09 - [joel.dore@inra.fr](mailto:joel.dore@inra.fr)  
 Unité « Microbiologie de l'alimentation au service de la santé »  
 Inra-AgroParisTech et Unité MetaGenoPolis  
 Département scientifique Inra « Microbiologie et chaîne alimentaire »  
 Centre Inra Île-de-France – Jouy-en-Josas



## II - Le palmarès 2017 des Lauriers de l'Inra : de l'excellence scientifique à l'innovation

A l'occasion de la 12<sup>e</sup> cérémonie des Lauriers de l'Inra, six lauréats sont récompensés pour leur engagement et leurs résultats dans des domaines de la recherche agronomique. Stéphane Travert, Ministre de l'agriculture et de l'alimentation, Frédérique Vidal, Ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation, et Philippe Mauguin, président directeur général de l'Inra ouvriront la cérémonie qui se déroulera à Paris le 20 novembre 2017.

• *Le Laurier du « Grand prix de la recherche agronomique » est décerné à une personnalité qui a contribué d'une manière exceptionnelle au rayonnement de la recherche agronomique. Il sera remis par Philippe Gillet, président du conseil scientifique de l'Inra.*

Ce prix est attribué à **Joël Doré**, directeur de recherche à l'unité Micalis et directeur scientifique de l'unité MétaGénoPolis au centre Inra Île-de-France - Jouy-en-Josas. Passionné, il fait tomber les idées reçues sur les microbes qui peuplent notre corps. Son domaine de prédilection ? Le microbiote intestinal, qu'il étudie sous toutes ses coutures.

• *Le Laurier « Défi scientifique » distingue un chercheur qui répond à une problématique d'intérêt majeur pour notre société. Il sera remis par Stéphane Travert, Ministre de l'agriculture et de l'alimentation.*

Ce prix est décerné à **Nathalie Gontard**, directrice de recherche dans l'unité « Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes » du centre Inra Occitanie-Montpellier. S'inquiétant de l'accumulation de déchets plastiques dans le sol et l'eau, elle invente des emballages biodégradables innovants et veut anticiper la totalité de leurs impacts dès leur conception.

• *Le Laurier « Espoir scientifique » récompense le travail de recherche d'un chargé de recherche récemment recruté. Il sera remis par Frédérique Vidal, Ministre de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation.*

Ce prix est attribué à **Florian Maumus**, chargé de recherche dans l'unité Génomique-Info au centre Inra Île-de-France – Versailles-Grignon. Il décline sans limite sa passion pour les plantes en mêlant génétique, génomique et bioinformatique.

• *Le prix « Innovation pour la recherche » souligne l'importance des avancées techniques dans les travaux scientifiques. Il sera remis par Christine Cherbut, directrice générale déléguée aux affaires scientifiques de l'Inra.*

Ce prix est attribué à **Anne Lacroix** dont le parcours d'ingénieure de recherche au laboratoire d'économie appliquée de Grenoble (Gael), couvre à la fois l'économie agricole, l'évaluation des politiques publiques et l'analyse des choix de consommation. Elle a fait de sa méthode préférée - l'économie expérimentale - le point d'appui de dispositifs novateurs pour l'observation des comportements.

• *Le prix « Appui à la recherche » est attribué à un technicien de la recherche dont l'apport est très particulier et significatif dans des activités d'expérimentation, de formation et de transfert. Il sera remis par Fabrice Marty, directeur général délégué à l'appui à la recherche de l'Inra.*

Ce prix est décerné à **Françoise Macouin**, responsable de la gestion du personnel du centre Inra Nouvelle-Aquitaine Poitiers.



• *Le Laurier collectif « Impact de la recherche » récompense une équipe pour ses travaux qui ont eu un impact mondial remarquable en agriculture. Il sera remis par Philippe Mauguin, pdg de l'Inra.*

Le **Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement** (LBE) situé à Narbonne, centre Inra Occitanie-Montpellier, est distingué par le Laurier collectif Impact de la recherche agronomique 2017. Ce prix récompense ses recherches pionnières dans la dépollution d'effluents agroalimentaires et dans l'optimisation de ces procédés pour produire du méthane, une bioénergie qui a désormais sa place dans notre bouquet énergétique. Le LBE cherche aujourd'hui à transformer les déchets des activités humaines en ressources. Au plus près des aspirations de la société à un futur plus durable, à l'écoute des industriels pour trouver les innovations nécessaires à une économie plus verte.

#### **Le jury international**

##### **Président du jury :**

Philippe Gillet, vice-président pour les affaires académiques de l'École polytechnique fédérale de Lausanne, Suisse

##### **Membres :**

- > Reinhart Ceulemans, Université d'Anvers, Belgique
- > Frans Kok, Université de Wageningen, Pays-Bas
- > Johann Swinnen, Université catholique de Louvain, Belgique
- > Pere Puigdomènech, Institut de biologie moléculaire de Barcelone, Espagne
- > Agnès Van Den Pol-Van Dasselaar, Université de Wageningen, Pays-Bas
- > Christine Watson, Université écossaise d'agriculture, Royaume-Uni



## III - Nathalie Gontard, Laurier Défi scientifique 2017

### 1) L'emballadeuse *(extrait de la plaquette des Lauriers de l'Inra)*

**Nathalie Gontard est une pionnière dans le monde des emballages. S'inquiétant de l'accumulation de déchets plastiques dans le sol et l'eau, elle invente des emballages biodégradables innovants et veut anticiper la totalité de leurs impacts dès leur conception. Inspirée par les pratiques découvertes au cours de ses nombreux voyages, Nathalie voit loin dans l'espace et le temps.**

« *Pourquoi les emballages ? Je ne sais pas...Peut-être parce que c'était un terrain vierge dans les années 90* ». Peu portée sur l'autoanalyse, Nathalie arrive avec son casque de vélo et son sac rouge, silhouette juvénile, port de danseuse. « *Dès mon DUT, j'avais deux thèmes en tête : les emballages et les pays en développement. Ma plus grande satisfaction, trente ans plus tard, c'est d'arriver à mobiliser une communauté de recherche internationale autour de cette problématique des emballages plastiques et des déchets* », poursuit-elle en attachant ses cheveux et en appliquant son rouge à lèvres, posée et précise. En matière d'emballages comme dans la vie, Nathalie voit loin. Dans les années 70, il y a eu un véritable engouement pour le plastique, pratique et peu cher, mais on n'a pas pensé au devenir des tonnes de déchets enfouis dans le sol et aux particules qui envahissent les océans. La main en visière sur le front, comme sur le bateau de son navigateur de mari, Nathalie regarde au-delà de l'horizon. Il faut travailler sur le devenir de ces plastiques sur le très long terme, il faut aussi les recycler au maximum, et enfin, inventer des emballages issus des végétaux et biodégradables.

#### Zéro gaspillage en agriculture

Les trois quarts des plastiques ne sont pas recyclables de façon répétée. D'où l'importance de se pencher sur des emballages biodégradables, mais pas n'importe lesquels. Ce n'est pas parce qu'un produit est biosourcé qu'il est vertueux. Par exemple, on peut élaborer des barquettes alimentaires à partir de granulés de maïs, mais si ce maïs est cultivé en Chine en compétition avec l'alimentation, cela n'a pas grand sens. L'enjeu est de fabriquer ces bioproduits à partir de déchets végétaux locaux et non valorisés, tels que les ceps de vigne, les résidus d'olives, etc. On peut aussi recycler les effluents de laiterie ou de vinification grâce à des microorganismes qui produisent à la fois du méthane pour l'énergie et des bioproduits pour les emballages. C'est tout l'esprit du projet No Agricultural Waste, « zéro gaspillage en agriculture », le petit dernier que coordonne Nathalie, un projet qui embarque pas moins de 32 pays, dont la Chine, pour un budget de 8 millions d'euros. « *Ce projet est innovant parce qu'on cherche à évaluer l'ensemble des impacts d'un produit dès sa conception, grâce à la modélisation, et non pas a posteriori* » souligne Nathalie, qui ne perd jamais son fil. L'objectif est de concevoir des emballages ayant une balance globale positive.

#### Une inspiration venue d'ailleurs

« *C'est la peur qui fait baisser les yeux sur le guidon et empêche de voir à long terme* ». La peur, Nathalie a appris très tôt à la surmonter. Après son DUT, elle va chercher l'inspiration partout dans le monde. En Afrique, en Amérique du Sud, en Asie, jeune, seule, avec appréhension mais avec ses certitudes chevillées au corps, elle enquête pendant dix ans sur les « emballages-feuilles » qui existent depuis longtemps dans ces pays : envelopper les aliments dans des feuilles de différentes essences d'arbres, dont certaines changent de couleur quand le produit s'abîme, précieux indicateur. Avec le soutien du Cirad, elle motive des équipes pluridisciplinaires et monte des laboratoires au Congo, au Bénin, sur ces filières menacées par l'expansion du plastique. Au Japon, elle s'intéresse aux emballages « intelligents ». Lui revient alors un résultat obtenu pendant sa thèse : une protéine de blé qui change de conformation et de propriétés électriques en présence de CO<sub>2</sub>, d'ammoniaque, d'éthanol. Pas utilisable comme constituant d'emballages, mais excellente pour déceler la dégradation des

aliments qui commencent à fermenter. D'où l'idée de fabriquer une puce RFID (*radio frequency identification*) à partir de cette protéine, pour capter ces émissions et indiquer une date de péremption réelle. Encore une solution pour éviter le gaspillage. L'innovation fait son chemin chez un industriel.

**« L'Inra ? un fabuleux outil au service de l'agriculture et de l'agroalimentaire en France et au-delà... »**

Optimiste, Nathalie croit à l'action collective. Elle transmet sa vision internationale à son équipe et au delà. Les collaborations sont nombreuses et Skype fonctionne non-stop dans les labos. Nathalie pose ses valises d'abord en 1999 à l'Université de Montpellier, puis en 2011 à l'Inra où elle devient chercheuse. Elle se ressource dans son Ardèche natale, où ses parents lui ont donné un modèle de vie simple, en étroite connexion avec la nature, presque en autarcie. Emue, elle évoque le souvenir de son père, plombier, jardinier, pêcheur, expert en truffes. Un père fondateur, deux frères enracinés dans leur terroir, deux enfants minimalistes dans leur mode de vie et aventureux, l'un pilote, l'autre plongeur, deux autres enfants de sensibilité humaniste et écologiste. Transmission, passation... On comprend mieux maintenant pourquoi Nathalie a choisi de travailler sur les emballages biosourcés et biodégradables...

**MiniCV**

- 53 ans
- 1983 : baccalauréat scientifique
- 1983-1985 : DUT à Montpellier
- 1985-1988 : diplôme d'ingénieur et master
- 1988-1991 : thèse à l'Université de Montpellier et post-doctorat à Norwich (Royaume-Uni)
- 1992-1998 : chercheuse au Cirad, enseignante à la Section Industries Alimentaires des Régions chaudes de l'ENSIA (intégrée désormais à AgroParisTech) aujourd'hui rattachée à Montpellier SupAgro
- 1998-1999 : chercheuse à l'Université de Uji, Japon
- 2000-2010 : professeur à l'Université de Montpellier
- 2010 : professeur à l'Université de Kyoto, Japon
- Depuis 2011 : directrice de recherche, unité Ingénierie des agropolymères et technologies émergentes, Inra centre Occitanie-Montpellier.
- Plus de 150 publications, nombreuses distinctions dont le prix « Etoile de l'Europe » H2020 en 2015.
- Hobbies : lecture, vélo, natation, navigation, danse.

**Et après ?**

Deux pistes essentielles : mener des recherches sur le devenir des déchets plastiques accumulés dans les décharges et développer l'emballage « idéal » sur les plans économique, écologique et sociétal. En attendant, Nathalie suit le développement des innovations qu'elle a initiées : un emballage à base de particules de fer qui empêche l'oxydation des aliments et un emballage muni d'une puce RFID qui détecte la dégradation des aliments et indique une date de péremption réelle. Elle anime une équipe centrée sur la conception et l'évaluation de biomatériaux.

## 2) L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions

Dans le monde, près de 80 millions de tonnes d'emballages plastiques sont produits annuellement, dont plus de 80 % terminent dans notre environnement (dispersés de façon incontrôlée ou mis en décharge).

Au croisement d'importants enjeux économiques, environnementaux et de santé publique, l'emballage alimentaire mérite aujourd'hui une mobilisation de tous les acteurs pour faire évoluer les matériaux et les technologies vers des solutions plus respectueuses à la fois de l'environnement et du consommateur.

L'emballage s'est vu doté ces dernières années de fonctionnalités actives et intelligentes beaucoup plus étendues que celles d'un emballage conventionnel pour améliorer la qualité et la sécurité de nos aliments et réduire les pertes et gaspillages. Parallèlement, les préoccupations croissantes liées à la protection de l'environnement, ont généré d'importants efforts en termes de réduction à la source, de tri sélectif et de recyclage, ainsi que l'émergence de nouveaux concepts d'emballages de types bio-sourcés, renouvelables, biodégradables et/ou compostables. Il faut aussi ajouter que cette évolution importante du secteur des emballages alimentaires, a été jalonnée de nombreuses crises sanitaires liées au transfert de substances indésirables, qui ont généré l'élaboration de nouvelles approches de prévention des risques.

Les demandes du monde socio-économique s'orientent aujourd'hui vers l'utilisation et la conception raisonnée d'emballages alimentaires capables d'offrir un bon compromis entre les exigences liées à la qualité des aliments, à la sécurité du consommateur, à la compétitivité économique des produits et à la protection de l'environnement.

Nathalie Gontard a coordonné un projet européen « Ecobiocap » (<http://www.ecobiocap.eu>) dont l'objectif était la fabrication d'emballages alimentaires dont les constituants sont issus exclusivement de sous et co-produits de l'industrie alimentaire (voir exemples de résultats ci-après).

Ses travaux concernent notamment le développement d'emballages actifs et intelligents pour réduire les pertes et gaspillages alimentaires.

Les emballages actifs sont destinés à maintenir l'état de denrées alimentaires emballées.

Les emballages intelligents détectent et informent les différents acteurs de la chaîne, jusqu'au consommateur, des caractéristiques des denrées alimentaires conditionnées.

Des retombées importantes sont attendues dans le domaine de la RFID qui permet d'imaginer un futur où l'aliment emballé sera connecté avec notre téléphone ou notre réfrigérateur pour nous signaler les denrées à consommer en priorité selon leur état de fraîcheur en temps réel.

Lire l'intégralité de l'article « L'emballage alimentaire et l'innovation écologique dans toutes leurs dimensions » de la revue Innovations agronomiques, vol 58, 2017 : <http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volumes-publies-en-2017/Volume-58-Juillet-2017>

## 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures

### • Retour sur le projet Ecobiocap : un programme pionnier pour une nouvelle génération d'emballages

Le projet européen Ecobiocap (2011-2015), coordonné par Nathalie Gontard, a rassemblé 16 partenaires académiques et privés de France, Suède, Italie, Portugal, Irlande, Espagne, Hongrie et Allemagne. Il a permis de produire des emballages dont les constituants sont exclusivement issus de déchets et sous-produits des industries alimentaires. Durables, adaptés aux denrées périssables, leurs propriétés ont été modulées selon les exigences des aliments :





© Inra

#### - Des barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agroalimentaires

Les déchets organiques : une richesse au service de l'économie circulaire. En France, l'industrie agro-alimentaire produit 93 % des déchets organiques industriels. En 2008, ces volumes représentaient 805 000 tonnes de résidus organiques composés de déchets (parties non valorisées des légumes), de co-produits (tourteaux...) et 2,7 millions de tonnes de boues/effluents. Que faire de tous ces déchets ? Une approche innovante consiste à les considérer comme de véritables matières premières attractives (coût, disponibilité, biodégradabilité...). Ecobiocap s'est attaché à montrer qu'elles pouvaient être valorisées après transformation en matériaux d'emballage alimentaire du type film ou barquette composite.

La nouvelle génération d'emballages mise au point dans le cadre d'Ecobiocap est destinée à remplacer les plastiques d'origine pétrochimique. Les matériaux développés sont des composites dont les constituants (biopolyesters, fibres ligno-cellulosiques et bioadditifs) sont obtenus soit par fermentation d'effluents liquides (eaux de lavage d'huilerie, petit lait d'industries laitières) soit par fractionnement et traitement de résidus solides (pailles de céréales, tourteaux d'huileries, de brasseries et plumes d'élevages). En s'appuyant sur une approche de compréhension et de modélisation multi-échelles des relations entre la structure de composites et les transferts de matière, le projet Ecobiocap propose aux industries alimentaires de l'Union Européenne, des emballages biodégradables et modulables à façon selon les exigences et besoins des produits alimentaires, avec des bénéfices directs à la fois pour l'environnement et pour les consommateurs en termes de qualité et de sécurité des aliments.

*En savoir plus :*

<http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/nouveaux-emballages-alimentaires>  
Article « Des barquettes agro-sourcées à base de sous-produits des industries agroalimentaires » de la revue Innovations agronomiques, vol 58, 2017 : <http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volumes-publies-en-2017/Volume-58-Juillet-2017>

#### - Un outil d'aide à la décision pour le choix d'un emballage

De manière à rationaliser la conception de matériaux et le choix d'un emballage en fonction des différents critères nécessaires (qualité de l'aliment, impact environnemental, coût, etc.), un outil d'aide à la décision a été développé dans le cadre du projet EcoBioCAP. Il est le fruit d'une collaboration entre plusieurs champs



disciplinaires, le génie des procédés, les sciences des aliments et l'ingénierie de la connaissance. L'utilisateur peut faire une requête multicritère au moyen d'une interface conviviale dans une base de données « Emballage ». Par exemple, l'utilisateur voudra trouver l'emballage correspondant à la requête suivante : « je veux un emballage conservant au mieux la qualité de mon produit (ex. fraise) à 20°C - c'est-à-dire possédant les propriétés de perméation à l'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> adaptées au produit - si possible transparent et biodégradable, avec un coût matière inférieur à 3 €/kg ». Certains éléments sont obligatoires, d'autres sont des souhaits.

Cet outil assemble des modèles mathématiques permettant d'identifier les perméabilités à l'O<sub>2</sub> et au CO<sub>2</sub> nécessaires pour une application donnée (produit frais respirant) avec des bases de données dédiées stockant les propriétés des aliments (caractéristiques respiratoires) ou celles des emballages (perméabilités, transparence, biodégradabilité...). Il constitue une première dans le domaine de l'emballage alimentaire et une aide non négligeable pour tous les acteurs de la filière agro-alimentaire et de l'emballage. Les futures versions intégreront les aspects environnementaux et sécurité du consommateur.

Lire l'article « Outil d'aide à la sélection d'emballages alimentaires pour la conservation sous atmosphère modifiée des produits frais » de la revue Innovations agronomiques, vol 58, 2017 : <http://www6.inra.fr/ciag/Revue/Volumes-publies-en-2017/Volume-58-Juillet-2017>

## • Le projet NoAW (*No Agricultural Waste*)

La démarche de recyclage des résidus des filières agro-alimentaires démontrée dans le projet Ecobiocap est actuellement approfondie dans le cadre du projet européen H2020 NoAW : *No Agricultural Waste*. Coordonné par Nathalie Gontard, il a débuté fin 2016 pour une durée de 4 ans.

NoAW a pour but de concevoir de nouvelles approches pour convertir les résidus agricoles en bioproduits éco-efficaces sur le plan environnemental, économique et sociétal. Le concept de NoAW consiste à privilégier la réflexion holistique pour développer des innovations permettant la gestion circulaire des déchets agricoles en prenant compte les spécificités régionales et saisonnières sans omettre les risques inhérents à la gestion circulaire comme l'accumulation des contaminants. Le projet développe des outils innovants de conception écologique et d'évaluation hybride des stratégies de gestion circulaire des déchets agricoles. Il a pour ambition de réaliser des avancées majeures dans la connaissance de la complexité moléculaire et de l'hétérogénéité des déchets agricoles afin d'améliorer la digestion anaérobie (qui est la technologie de conversion la plus répandue et la plus mature) et de concevoir des processus en cascade écologiques et robustes sur la base du concept de bio-raffinerie des résidus agricoles. Les innovations produites par le projet visent à convertir entièrement les déchets agricoles en énergie, engrais, et matériaux et bio-molécules à haute valeur ajoutée susceptibles de remplacer une gamme importante de produits équivalents non-renouvelables, avec des impacts positifs sur l'environnement.

Plus d'informations : <http://noaw2020.eu/>



## IV - Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement, Laurier collectif Impact de la recherche agronomique 2017

### 1) Les déchets en valeur *(extrait de la la plaquette des Lauriers de l'Inra)*

**Il est pionnier dans la dépollution d'effluents agroalimentaires et dans l'optimisation de ces procédés pour produire du méthane, une bioénergie qui a désormais sa place dans notre bouquet énergétique. Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement <sup>(1)</sup> de l'Inra cherche aujourd'hui à transformer les déchets des activités humaines en ressources. Au plus près des aspirations de la société à un futur plus durable, à l'écoute des industriels pour trouver les innovations nécessaires à une économie plus verte.**

Avec 50 à 60 articles publiés chaque année dans des revues scientifiques de haut niveau, le LBE est premier sur la scène internationale dans le domaine de la méthanisation (ou digestion anaérobie) devant le Danemark (*Technical University of Denmark*) et la Chine. Un leadership entretenu depuis 30 ans, avec des avancées scientifiques majeures dans le développement de systèmes à grande échelle (prétraitements des matières organiques, biofilms\* microbiens, modélisation, procédés) et dans l'écologie des communautés microbiennes. En 2015, près de 10 % des ventes d'installations de méthanisation en France, en termes de puissance électrique installée, ont été réalisées par Naskeo, une start-up créée en 2005 à partir d'un brevet du LBE sur le traitement anaérobie des eaux usées. Avec un second brevet LBE, la jeune pousse a ensuite étendu son activité aux déchets solides, en optimisant la production de méthane. Les politiques publiques encourageant la méthanisation (2006, 2011 et 2013) ont permis à ces activités d'atteindre une viabilité économique.

#### De la gestion de nuisances à la création de ressources

Transformer les déchets en ressources, au-delà du biogaz, le tournant est pris au LBE voici 10 ans. Bienvenue dans le monde de la bioraffinerie environnementale ! Outre le méthane, nos chercheurs et ingénieurs travaillent à la production d'hydrogène, à la mise au point de « piles bactériennes » ou encore à réduire la facture énergétique des stations d'épuration à l'aide de microalgues. D'autres débouchés visent l'agriculture : l'eau chargée de carbone, phosphore et azote peut être dépolluée mais, lorsqu'elle sert ensuite à l'irrigation, pourquoi ne pas garder la dose d'azote et phosphore utile à la culture ? De même, une fois débarrassés des matières polluantes majeures ou en traces (pesticides, métaux lourds, pathogènes...), les digestats résiduels de fermentation ou méthanisation peuvent être épandus aux champs... ici, les travaux de Julie, chercheuse en génie des procédés, visent à ajuster leur composition aux besoins des cultures. Avant cela, des composés à haute valeur ajoutée pour l'agro-alimentaire ou la chimie verte peuvent parfois en être extraits.

#### Des chemins d'innovation défrichés avec la société et le monde économique

« *L'innovation, c'est dans nos gènes* » résume Dominique qui consacre aujourd'hui ses recherches au traitement des résidus de médicaments. Le transfert aussi... La halle expérimentale du LBE, labellisée par l'Union européenne <sup>(2)</sup>, incarne cette double vocation. Elle jouxte l'IUT, où le LBE assure des cours, et la pépinière d'entreprises où se développe BioEnTech, start-up fondée à partir de technologies LBE et Inria pour le pilotage d'installations de méthanisation... L'innovation naît aussi de recherches collaboratives avec le milieu industriel. Un credo pour Diana qui, après 15 années passées dans l'industrie, pilote la halle. Parmi les projets en cours, un travail sur la valorisation des résidus de maïs ou son de blé <sup>(3)</sup>. Fractionnement, traitement des résidus solides, extraction, protéines, acceptabilité sociale... : « *La spécificité de l'Inra est de réunir, à travers ses différents labos, les compétences pour traiter la chaîne de valeur toute entière* » explique-t-elle. « *Objectif : concilier dépollution, équilibre financier des industriels et demande sociétale croissante en produits biosourcés* ». Dans les mêmes locaux, Romain dirige Inra Transfert Environnement (ITE) : « *Émanation*



*du LBE, l'entreprise assure des prestations de service pour les industriels. Lorsque les demandes soulèvent des questions de recherche, elles sont transmises au LBE ».*

### Les voyages forment la jeunesse... et l'interdisciplinarité

Quand Nicolas, directeur du laboratoire, détaille le profil de ses collaborateurs, les nationalités défilent : Amérique latine, Europe, Afrique du Nord, Asie... Quelles voies les conduisent au LBE, « petit village gaulois » au cœur de la Narbonnaise, loin de tout grand campus, comme le décrit Kim, chercheur en microbiologie formé aux États-Unis ? Les thématiques mais aussi la qualité scientifique du laboratoire, le bouche à oreille de nombreux « anciens » qui ont réalisé leur thèse ou post-doc au labo, ou noué des collaborations. Le groupe « LBE Alumni », à peine lancé sur le réseau social LinkedIn, réunit déjà près de 60 personnes. Une « grande famille » : la taille humaine du laboratoire encourage les interactions, avec de nombreux degrés de liberté. Les thèses sont co-encadrées par des scientifiques de plusieurs disciplines, à l'exemple de celle de Roman alliant fermentation, électrochimie et modélisation. Cette culture de l'interdisciplinarité a été insufflée par René Moletta, à la tête du laboratoire jusqu'en 2000. Aujourd'hui, l'organisation par « objet thématique » facilite les synergies et l'acquisition d'un langage commun entre disciplines. Le dynamisme du LBE est également alimenté, comme l'exprime Audrey, ingénieur, par des « thèmes porteurs : l'environnement et l'économie circulaire » fortes attentes de la société, encouragées par les politiques publiques, avec l'appui d'une Région qui vise le premier label « à énergie positive ».

### Un peu d'histoire

En 1895 est fondée à Narbonne une Station œnologique, inaugurée en 1936 par Léon Blum alors député de Narbonne, à l'occasion d'une installation dans de nouveaux locaux. Dès la fin des années 30, cette station où naîtra ensuite le LBE, se préoccupe du traitement des pollutions générées par la concentration de l'activité viticole. Des effluents de distillerie concentrés envers lesquels les microorganismes qui font leurs preuves (plus de 100 espèces différentes) travaillent sans oxygène : c'est la digestion anaérobie. Cette transformation produit du méthane, c'est pourquoi on parle encore de méthanisation. Un premier essor est pris dans les années 70, avec des technologies utilisant le vivant (des bactéries capables de traiter ces éléments dans la nature) : le Laboratoire des Biotechnologies de l'Environnement - industries agroalimentaires (LBE-IAA) naît... Dans les années 1990, le LBE élargit son activité hors des industries agroalimentaires (IAA) avec le traitement des résidus solides urbains et industriels. Peu à peu la méthanisation est vue comme une voie de production alternative d'énergie : nouveau débouché et nouvelles recherches pour adapter les processus de production avec du génie des procédés mais aussi des recherches sur les communautés microbiennes les plus adaptées au processus ou pouvant « ensemencher » la matière à transformer. Grâce aux politiques publiques le traitement des déchets dans l'optique de produire du méthane bioénergie devient rentable (2011-2013). La méthanisation est également devenue un levier important dans la politique européenne des énergies renouvelables.

### Quelques dates

- \* 1936 : Léon Blum, alors député de Narbonne, inaugure la nouvelle Station œnologique de Narbonne. Sous l'impulsion de son directeur Michel Flanzky, les recherches de la station s'intéressent également à la dépollution des effluents des distilleries liées à l'activité viti-vinicole
- \* 1946 : La Station Œnologique intègre l'Inra à sa création
- \* 1987 : Création du LBE-IAA spécialisé dans le traitement des effluents agro-alimentaires. Dans les années
- \* 1990 : Le laboratoire qui s'intéresse désormais à tout type d'effluent prend le nom de LBE
- \* 1994 : Licence de savoir-faire exclusive avec les Ateliers d'Occitanie sur le procédé SBR, technologie simple et robuste de traitement des eaux usées, transférable aux PME
- \* 2005 : Création d'ITE pour traiter les demandes de l'industrie qui relèvent de la prestation de service. ITE promeut aussi le partenariat entre recherche et industrie (ex. Journées Recherche Industrie) [Vidéo sur ITE : <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Dispositifs-de-partenariat/Tous-les-dossiers/Salon-de-l-innovation-et-de-la-competitivite-ICS-2014/InraTransfert> ]



- \* 2005 : Naissance de la start-up Naskeo à partir d'un premier brevet du LBE relatif au traitement des eaux usées. Plus tard, un deuxième brevet (Ergenium) permet d'étendre l'activité à la méthanisation de résidus et déchets solides en optimisant la production de méthane dans les installations
- \* 2009 : Naskeo installe sa première unité de traitement en Île-de-France.
- \* 2009 : Nouvelle Halle expérimentale (HBE : Halle de Biotechnologie de l'Environnement) dédiée à la prestation de service et à la recherche collaborative avec l'industrie
- \* 2006 : Un arrêté contraint EDF à acheter de l'électricité co-produite de biogaz
- \* 2013 : Création de BioEnTech valorisation d'une innovation technologique Inra - Inria : MemoBio Methane Monitoring [ BioEnTech : l'optimisation des procédés de méthanisation <http://www.inra.fr/Entreprises-Monde-agricole/Resultats-innovation-transfert/Toutes-les-actualites/BioEnTech>]
- \* 2015 : Naskeo a réalisé près de 10 % des ventes d'installations de méthanisation en France, en termes de puissance électrique installée.

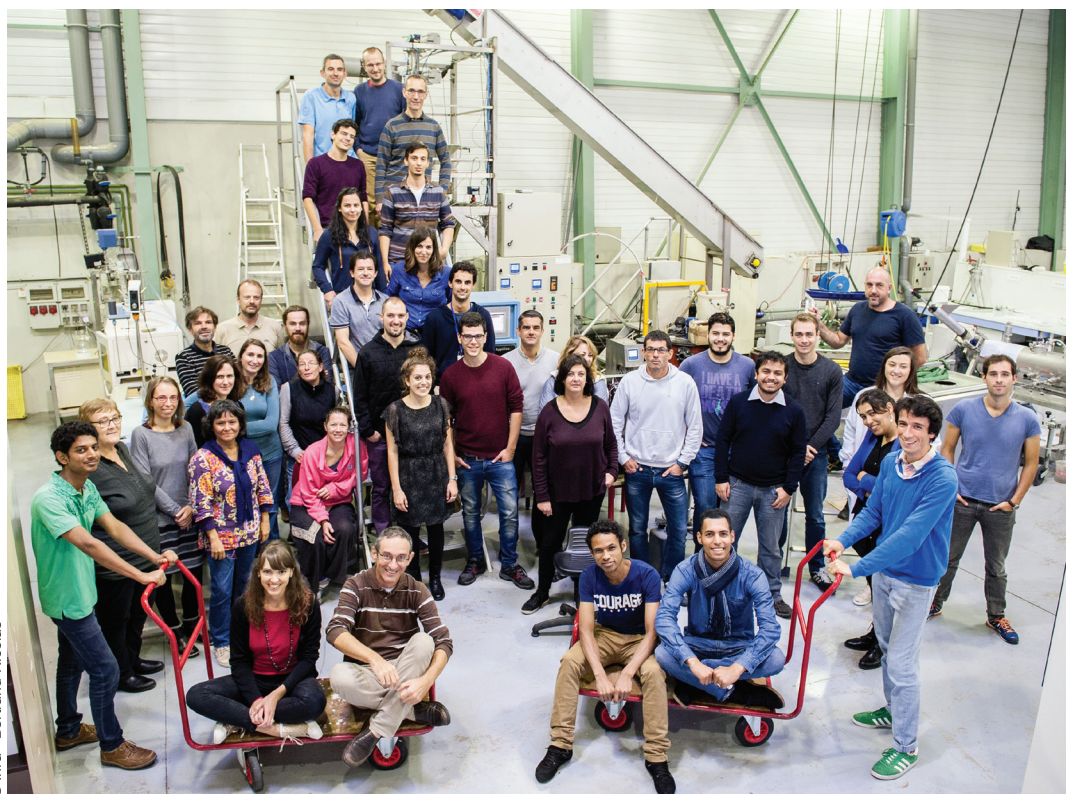
(1) Le laurier récompense l'ensemble du personnel du LBE, même si seuls quelques membres sont évoqués à travers ce « portrait » par leur prénom.

(2) Label : Key Enabling Technologies (KETs) Technology Center

(3) Projet mené en collaboration avec les unités Inra Biodiversité et Biotechnologie Fongiques (UMR Inra Université Marseille et Polytech Marseille BBF) et Biopolymères Interactions Assemblages (BIA) à Nantes

## Quelques chiffres

- \* 7 brevets, 11 licences de savoir-faire
- \* 3 500 m<sup>2</sup> de halle expérimentale, 50 réacteurs biologiques
- \* 5 Prix Pollutec-Ademe entre 2007 et 2013
- \* 64 emplois générés dans l'industrie par l'exploitation des innovations LBE sur la méthanisation
- \* 45 nationalités différentes accueillies depuis 2009 au LBE (étudiants, doctorants, post-doctorants ou chercheurs)



© Inra - Bertrand Nicolas

## 2) Le laboratoire de Biotechnologie de l'environnement et ses thématiques

Le Laboratoire de Biotechnologie de l'Environnement développe des bioprocédés de traitement et valorisation par voie biologique de la matière organique issue des résidus agricoles et agro-alimentaires, des déchets ménagers et des boues des stations d'épuration. Domaine de prédilection du labo, la méthanisation (ou digestion anaérobie) permet de valoriser cette matière organique en associant dépollution, production de bioénergie et de matières fertilisantes.

Les recherches menées par le LBE ont évolué vers le concept de bioraffinerie environnementale.

Une bioraffinerie est une installation industrielle produisant à partir de biomasse et d'une variété de technologies des biocarburants, de l'énergie, des molécules d'intérêt pour la chimie verte, des agro-matériaux et des aliments et ingrédients alimentaires. Lorsque la biomasse considérée est un résidu organique (industriel, agricole ou urbain), on parle de bioraffinerie environnementale.

A titre d'exemple : la digestion anaérobie, principale expertise du LBE, est perçue aujourd'hui comme un procédé produisant un biogaz riche en méthane, source de bioénergie, et un digestat valorisable agronomiquement. Les activités du LBE se concentrent sur la production de bioénergies (par exemple le biométhane et le biohydrogène) par des écosystèmes anaérobies et le traitement et/ou la valorisation des rejets de l'activité humaine, qu'il s'agisse d'effluents liquides (agroalimentaires en particulier), de résidus solides (résidus agricoles, déchets ménagers et boues issues des stations d'épuration) ou de biomasses spécifiques telles que les micro- ou macro-algues. Cette valorisation se décline en intégrant explicitement les contraintes d'innocuité sanitaire (par exemple liées à la présence de résidus pharmaceutiques, de détergents et/ou de pathogènes).

L'ensemble de ces recherches couvre un très large spectre de compétences disciplinaires : microbiologie, écologie microbienne, génie biologique, génie des procédés, modélisation, automatique, analyse de cycle de vie, ingénierie de projets, développement technologique et innovation.

Plus d'informations sur le LBE : <https://www6.montpellier.inra.fr/narbonne>



© Maya Press

### 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures

#### • Un premier cas documenté de parasitisme électronique entre microorganismes

Au sein d'un écosystème, les microorganismes peuvent partager de l'énergie grâce à un échange d'électrons. Ce transfert peut se faire via l'échange de molécules telles que le dihydrogène ou le formiate, comme c'est le cas, par exemple, dans des communautés microbiennes syntrophiques de la digestion anaérobie. Des transferts directs d'électrons sont également possibles entre certains microorganismes par contact physique entre cellules ou grâce à des pili conducteurs. Les recherches menées dans le monde ont permis de mettre en évidence le transfert direct et de documenter ses mécanismes, mais les dispositifs expérimentaux impliquaient nécessairement une interaction syntrophique qui profite aux deux microorganismes. Des expériences de cultures pures et de co-cultures de *Geobacter sulfurreducens* et *Clostridium pasteurianum* menées au LBE ont montré que *G. sulfurreducens* est capable d'utiliser la bactérie fermentaire *C. pasteurianum* comme accepteur d'électrons. Cet échange d'électrons inter-espèces aboutit à une diminution notable (39 %) de la production de biomasse compensée par une augmentation des produits de fermentation. Contrairement aux autres cas de transferts d'électrons inter-espèces décrits jusqu'alors, celui-ci handicape donc la croissance de la bactérie accepteuse d'électrons, ce qui constitue le premier cas documenté de parasitisme électronique.

D'un point de vue applicatif, il est en effet intéressant de remarquer que ce parasitisme électronique modifie le bilan de la fermentation avec une diminution de la production de biomasse et une production accrue de produits réduits (comme le 1,3-propanediol à partir de la fermentation de glycérol). Ceci permet d'envisager l'utilisation de microbes électroactifs ou d'électrodes (on parle alors d'électro-fermentation) pour le pilotage des fermentations qui constitue actuellement un défi majeur pour la bioraffinerie environnementale.

#### • Risques microbiologiques et méthanisation : devenir des pathogènes lors du stockage des digestats

Les digestats issus de la méthanisation des déchets peuvent contenir des microorganismes pathogènes, ce qui complique leur valorisation par retour au sol. Les déterminants de la survie des bactéries pathogènes lors du stockage des digestats ont été étudiés, et en particulier les facteurs biotiques, peu explorés jusqu'à présent. L'objectif était de mettre en relation la biodégradabilité de la matière organique, la diversité et l'activité microbienne du digestat avec la survie de trois bactéries pathogènes présentes dans les effluents d'élevage (*Salmonella Derby*, *Listeria monocytogenes* et *Campylobacter coli*).

La survie de *Salmonella Derby* dans le digestat augmente lorsque la matière organique est plus stabilisée, moins biodégradable et que l'activité microbienne des populations indigènes diminue. *A contrario*, *Listeria monocytogenes* est inactivée plus rapidement dans les digestats compostés que dans les autres types de digestats. Toutefois, la persistance de *L. monocytogenes* reste supérieure à celle de *Salmonella* et de *Campylobacter coli* dans les digestats non compostés. Par ailleurs, il a également été mis en évidence que ces bactéries, après inoculation dans certains digestats, perdent leur capacité à croître sur les milieux de culture habituels tout en restant viables. Ceci pourrait expliquer les phénomènes de 'recroissance' de bactéries observées sur cette filière de traitement. Les pertes de cultivabilité (état dit "viable mais non cultivable" ou 'VNC') ont été observées pour les trois pathogènes mais de manière non systématique et dans des digestats différents.

Ces travaux ouvrent de nouvelles pistes à explorer concernant la maîtrise du risque microbiologique lors du stockage des digestats.

#### • Valorisation des déchets organiques dans la communauté d'agglomération de Narbonne : exemple de construction d'un partenariat Public-Privé

Dans le cadre d'une délégation de service public entre la communauté d'agglomération du Grand Narbonne et Suez Recyclage et Valorisation, la communauté d'agglomération a confié à Suez Recyclage et Valorisation (par exemple Sita) la conception, la construction et l'exploitation d'un Pôle Environnement permettant le tri, le traitement et la valorisation des déchets produits sur le territoire. Cinq familles de déchets sont concernées :





© Inra - Bertrand Nicolas

les déchets recyclables issus des collectes sélectives, le bois, les encombrants, les déchets ménagers résiduels traités dans l'installation de stockage et enfin les biodéchets issus d'un tri à la source auprès des gros producteurs (cuisines centrales, marchés, grandes surfaces commerciales...). La filière de valorisation de ces biodéchets est à mettre en place et la filière conventionnelle consiste en une valorisation matière dans un atelier de compostage. Cependant, dans l'objectif de développer une nouvelle filière de valorisation à la fois matière et énergétique, un projet de R&D a été construit entre Suez Environnement par l'intermédiaire du Centre International de Recherche sur l'Eau et

l'Environnement (CIRSEE) et le LBE de l'Inra de Narbonne. L'objectif initial de cette collaboration est de proposer une nouvelle filière de valorisation intégrant la méthanisation et adaptée aux contraintes des gisements des déchets locaux. L'enjeu final du projet est de générer des données et des connaissances qui orienteront la décision de la conception et la construction d'une unité de digestion territoriale par voie sèche de déchets organiques collectés sélectivement sur la zone géographique du Grand Narbonne (3500 tonnes par an).

• **Le LBE a contribué à la création de deux sociétés innovantes :**

- **Naskeo Environnement** (<http://naskeo.com/>), créée en 2015, s'est positionnée dans le domaine du traitement des rejets par méthanisation et valorisation du biogaz.

Elle compte aujourd'hui 45 collaborateurs et plus de 40 références d'unités de méthanisation en France, pour un chiffre d'affaire annuel de l'ordre de 12 M€.

Les relations entre Naskeo Environnement et l'Inra remontent à 2005, par la signature d'une licence d'exploitation d'un premier brevet portant sur un procédé de traitement des effluents en réacteur anaérobie à biomasse fixée. Naskeo Environnement et le LBE ont poursuivi depuis leur étroite collaboration au travers de nombreux projets.

- **BioEnTech** (<https://www.bioentech.eu/>), créée en 2013, qui en 2016 a levé 900 k€ de fond et emploie cinq personnes début 2017.

Elle propose des solutions logicielles de supervision ainsi que des services d'assistance et télésurveillance pour les unités de méthanisation. Elle souhaite recruter une douzaine de collaborateurs d'ici 2019 pour des activités en cours de développement ayant fait l'objet de dépôt de brevets. Le premier segment visé est celui des stations d'épuration industrielles.

BioEnTech est accompagnée depuis sa création par l'Inra et par l'Inria respectivement pour l'expertise biologique et le développement informatique. La société pilote le programme Méthanisation - énergie - Agronomie, Production de Proximité en Economie circulaire et Durable (MAPPED), dont l'Inra est un partenaire, qui vise à apporter des solutions concrètes pour aider les acteurs territoriaux de la méthanisation dans une démarche d'économie circulaire.

## V - Joël Doré, Grand prix de la Recherche agronomique 2017 pour l'excellence de sa carrière

### 1) La fibre collective (extrait de la plaquette des Lauriers de l'Inra)

**De l'enthousiasme, une voix douce, de la modestie et beaucoup de pédagogie. C'est ce qui distingue Joël Doré, directeur de recherche à l'unité Micalis (Microbiologie de l'Alimentation au service de la Santé) et directeur scientifique de l'unité MétaGénoPolis au centre Île-de-France – Jouy-en-Josas de l'Inra. Son domaine de prédilection ? Le microbiote intestinal, qu'il étudie sous toutes ses coutures. Rencontre avec un passionné, qui fait tomber les idées reçues sur les microbes peuplant notre corps.**

Depuis son arrivée à l'Inra il y a 33 ans, Joël Doré travaille sur le microbiote intestinal. Celui des animaux dans un premier temps, puis, huit ans après, sur celui de l'homme. « Ce qui frappe, ce sont ces 100 000 milliards de bactéries qui nous habitent : nous vivons avec des microbes toute notre vie, et c'est cette connivence de notre corps avec ces derniers qui nous protège des grandes maladies de la société moderne » raconte Joël Doré. Ces dernières, qu'elles soient métaboliques, dégénératives, neurologiques ou inflammatoires sont nombreuses, et toutes dues à une déviation de notre microbiote. « *Le Laurier "Recherche agronomique" est une récompense immense pour moi : j'ai eu la chance de garder le même objet de recherche toute ma carrière, ce qui donne une véritable visibilité à cette thématique. C'est également la reconnaissance du travail collectif que j'ai pu accomplir avec tous mes collaborateurs* » explique-t-il en souriant.

#### De la recherche à la transmission

Lorsqu'il arrive à l'Inra, Joël Doré travaille sur le site de Clermont-Ferrand pour construire un réseau européen sur le microbiote intestinal. L'objectif : montrer que l'« *on ne fait plus de recherche seul dans son coin : le travail d'équipe est extrêmement important* ». Puis, progressivement, son métier bascule de la recherche à la transmission. « *J'ai changé de métier plusieurs fois, et c'est venu tôt pour moi car mon ancienne directrice m'a confié son équipe lors de son départ. L'Inra m'a donné les moyens de m'épanouir* ». Et il le rend bien, puisqu'il a réussi à communiquer sa passion, entre autres, à Harry Sokol et Patricia Lepage dont il a co-encadré la thèse de doctorat. Ces derniers travaillent désormais tous deux sur le microbiote intestinal, sur une bactérie intestinale anti-inflammatoire et candidat médicament pour l'un, et sur l'efficacité des microbes comme adjuvant dans les traitements anti-cancer pour l'autre.

#### Quand la science rencontre l'innovation

La technologie, et plus particulièrement la robotique, a modifié de façon durable les façons de travailler sur le microbiote. Joël Doré explique que certaines manipulations comme l'extraction d'ADN, qui se faisaient « *sous les hottes, en blouse* » et prenaient jusqu'à quatre jours, sont réalisées en à peine quelques heures aujourd'hui. La standardisation des méthodes est un élément très important dans la recherche : elle permet d'arriver à des résultats plus fiables puisque réalisés à l'identique. Cela a notamment permis l'émergence de start-ups dans ce domaine, comme Maat Pharma, à laquelle Joël Doré dédie 20 % de son temps. « *Je travaille beaucoup avec David Petiteau par exemple, le business developer du domaine d'innovation Micro-organismes de l'Inra. J'apprécie cela car nous sommes très complémentaires : j'apporte la science, et lui le business. C'est un pan de l'activité essentiel à l'heure actuelle.* »



### Une hygiène de vie

Mais il n'y a pas que la recherche dans sa vie. Que ce soit des via ferrata, des falaises, des arbres, ou même... des bâtiments, Joël Doré, lorsqu'il n'est pas dans son bureau ou au laboratoire, pratique l'escalade. « *Je me souviens, le store de l'un des bâtiments du centre était cassé, personne ne bougeait, j'ai donc escaladé la façade pour le réparer* » raconte-t-il en riant. « *Je fais de l'escalade une fois par semaine avec ma femme. Je cours aussi depuis tout petit, et maintenant, avec mes enfants : j'ai fait un marathon avec ma fille récemment, et du trail avec deux de mes enfants* ».

### Prendre soin de son microbiote

Chassez la recherche, elle revient au galop... « *Avant, lorsque l'on me demandait si mes recherches m'avaient amené à modifier mes habitudes alimentaires ou mon mode de vie, je répondais non. Mais maintenant, c'est entré dans ma vie quotidienne ! Je prends soin de consommer beaucoup de fibres, je ne mange jamais un seul fruit ou un seul légume, je fais toujours des mélanges, diversité oblige...* » précise-t-il, le regard pétillant au-dessus de ses lunettes. Son dessert préféré ? Il préfère une salade de fruits à n'importe quelle pâtisserie. Par ailleurs, il « bricole » ses propres fromages, pains, yaourts et même, plus récemment, son vin. « *J'apprécie cela car c'est un exercice qui consiste à dompter des microbes : c'est vivant, avec tous les aléas que cela représente. Le vin est beaucoup plus compliqué car il y a une technicité que je ne maîtrise pas encore* ».

### Des microbes pour nous soigner

L'espoir de Joël Doré ? Que nous prenions enfin en compte la symbiose (l'interaction entre nos cellules humaines et nos microbes) afin de mieux contrôler les maladies, que ce soit dès la nutrition, en prévention, ou comme solution thérapeutique. "Aujourd'hui encore, le microbe est vu comme quelque chose de négatif... Mais ce sont les relations entre nos cellules et les microbes qui nous protègent !"

#### Mini-CV

Né en août 1959

Formation : DEA de physiologie animale appliquée, 1983 : entre à l'Inra pour un stage de DEA ; puis il fait une thèse au département des sciences animales à l'université de l'Illinois Urbana-Champaign aux États-Unis, en tant qu'attaché Scientifique Contractuel Inra.

1992 : dépose son premier projet européen

2010 : devient l'un des cinq directeurs adjoints de l'institut Micalis, qui associe l'Inra et AgroParisTech.

2012 : directeur scientifique de MétaGénoPolis

Hobbies : escalade (surtout dans l'Estérel), via ferrata, course, fabrication de son vin, son fromage, son pain...

#### Prix :

Il a reçu, avec Stanislav Dusko Ehrlich, le Prix Scientifique 2014 de la Fondation Simone et Cino del Duca pour ses travaux sur le microbiote et la description du métagénome intestinal.

En 2016, il reçoit la médaille d'Excellence Dupont Nutrition et Santé pour ses recherches sur le microbiote intestinal et son rôle dans certaines pathologies chroniques.



Et après ? Penser la recherche de demain... et d'après-demain

Pour Joël Doré, la recherche a, pour le moment, décrit le microbiote d'une personne en bonne santé, mais aussi de personnes atteintes de certaines grandes maladies de la société moderne (Alzheimer, obésité...). Son objectif, pour les années à venir, est de parvenir à améliorer la connaissance fine du microbiote, mais aussi de développer des outils afin d'arriver à une véritable personnalisation de la nutrition et de la médecine. « *Il faut augmenter les apports en fibres de "Monsieur Tout-le-monde"* » suggère-t-il. « *Aujourd'hui, le dialogue entre l'homme et ses microbes est très souvent déstructuré, ce qui peut entraîner un cercle vicieux fragilisant. Plus notre microbiote est pauvre, moins nous répondons aux régimes ou aux soins, et les maladies chroniques appauvrissent le microbiote...* » conclut-il.



## 2) Microbiote, la révolution intestinale

L'Inra est leader mondial de la recherche sur la métagénomique intestinale humaine, un champ de recherche qui révolutionne science, nutrition et médecine. Joël Doré est un des chercheurs pionniers du domaine.

Au cœur de nos intestins, 100 000 milliards de bactéries pèsent plus lourd que notre cerveau ! Ce gigantesque écosystème avec lequel nous vivons en symbiose, c'est notre microbiote intestinal. Depuis un demi-siècle, les chercheurs de l'Inra explorent ce micromonde : sa composition, ses gènes 25 fois plus nombreux que les nôtres, ses interactions avec notre organisme, ses dysfonctionnements et leurs conséquences...

Tout au long du tube digestif, les bactéries intestinales sont à l'interface entre aliments et corps humain. Ce microbiote, s'il est avant tout protecteur, est impliqué dans de nombreuses maladies, inflammatoires, métaboliques ou neurologiques. En effet, les bactéries intestinales peuvent contrôler notre inflammation, notre faim voire notre humeur. Cependant, les altérations de cet écosystème sont associées à de nombreuses maladies chroniques dont l'incidence ne cesse d'augmenter. Les chercheurs font aujourd'hui le lien entre altération du microbiote et obésité, diabète, allergies voire même anxiété, dépression, autisme.

Qu'en est-il de cette symbiose précisément ? Sommes-nous tous égaux dans ce dialogue intestinal entre nos cellules et les bactéries ? Comment bien nourrir notre microbiote ? Les probiotiques sont-ils vraiment utiles ? Comment ces bactéries intestinales ont-elles le pouvoir d'influencer notre comportement ? Comment ces micro-organismes évoluent-ils au cours de notre vie ?



Les équipes de l'Inra mènent nombre d'investigations et trouvent des réponses. Leurs recherches laissent entrevoir de fabuleuses perspectives pour notre bien-être et notre santé. Elles permettront sans doute de comprendre la sensibilité d'un individu à un traitement médical à un pathogène et de mieux appréhender le lien entre l'alimentation et la santé. Elles ouvrent des portes à des thérapies plus personnalisées, voire à une nutrition et à une médecine préventives.

Pour en savoir plus, en annexe, le dossier de presse « Microbiote : la révolution intestinale », 2017.

### 3) Des exemples de résultats scientifiques marquants et innovations majeures

#### • Microbiote intestinal humain, vers un protocole standardisé de traitement des échantillons de selles

Bien connaître le microbiote intestinal humain et en apprécier son impact sur la santé nécessite d'uniformiser les méthodes de métagénomique utilisées. Dans le cadre d'un vaste projet international, des chercheurs de l'Inra et du CEA révèlent l'impact majeur de l'étape d'extraction de l'ADN sur l'évaluation de la composition microbienne des échantillons de selles humaines. Ils proposent un protocole optimisé qui s'inscrit dans une suite de procédures standardisées de traitement des échantillons, de leur collecte à l'analyse informatique des données. Performant, transférable et automatisable, ce protocole contribuera à la production de données de qualité permettant des comparaisons robustes. Ces résultats sont publiés le 02 octobre 2017 dans la revue *Nature Biotechnology*.

Lire l'intégralité du communiqué de presse : <http://presse.inra.fr/Communique-de-presse/Protocole-de-traitement-des-echantillons-microbiote>

#### • Une nouvelle molécule anti-inflammatoire provenant d'une bactérie de l'intestin

Des chercheurs de l'Inra, Inserm, AP-HP et UPMC viennent d'identifier une protéine sécrétée par la bactérie *Faecalibacterium prausnitzii*, qu'ils ont appelée MAM - *Microbial Anti-inflammatory Molecule* – et qui joue un rôle actif dans la lutte contre l'inflammation intestinale. Publiée dans la revue *Gut*, cette découverte constitue un pas décisif dans le développement d'une nouvelle stratégie thérapeutique pour les maladies inflammatoires chroniques de l'intestin (MICI). Si l'action de *F. prausnitzii* contre l'inflammation intestinale a été révélée tout récemment par cette même équipe, leurs travaux vont aujourd'hui encore plus loin.

Lire l'intégralité du communiqué de presse : <http://presse.inra.fr/Communique-de-presse/Une-nouvelle-molecule-anti-inflammatoire-provenant-d-une-bacterie-de-l-intestin>

#### • Diabète : quand le microbiote fait de la résistance à l'insuline

Les bactéries de notre intestin influencent-elles l'insulino-résistance et donc la survenue du diabète de type 2 ? Quelles bactéries seraient impliquées ? Comment agiraient-elles ? Dans le cadre du consortium MetaHIT, une équipe internationale impliquant l'Inra démontre pour la première fois l'impact du microbiote sur la résistance à l'insuline et révèle les principales espèces bactériennes en jeu. Leurs travaux publiés dans *Nature*, ouvrent des perspectives prometteuses pour réduire l'incidence des maladies métaboliques et cardiovasculaires.

Lire l'intégralité du communiqué de presse : <http://presse.inra.fr/Communique-de-presse/Quand-le-microbiote-fait-de-la-resistance-a-l-insuline>

#### • Pauvre ou riche (en bactéries) : pas tous égaux face aux maladies liées à l'obésité

Deux études publiées simultanément dans *Nature* le 29 août 2013 ouvrent des perspectives importantes dans le domaine de la médecine préventive et personnalisée. Conduites par l'Inra conjointement avec l'Inserm, l'UPMC et l'AP-HP ainsi qu'avec le CNRS, l'IRD, l'université d'Evry et des partenaires internationaux, ces études ont permis de distinguer pour la première fois, au sein d'une population, deux groupes d'individus





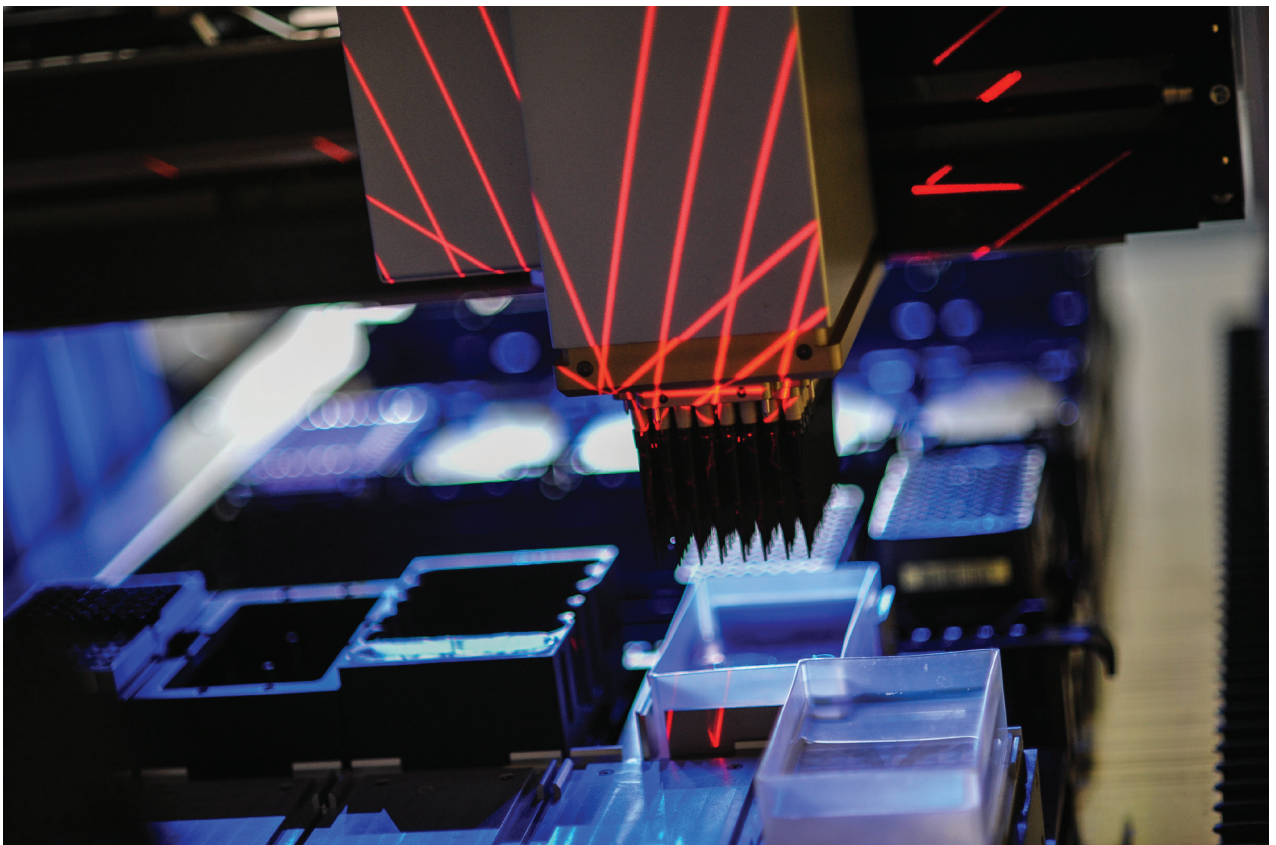
différant par la faible ou grande richesse de leur flore intestinale (encore appelée microbiote intestinal) et par leur susceptibilité face aux maladies métaboliques liées à l'obésité. Les chercheurs ont ainsi observé que les individus ayant un déficit en bactéries intestinales (appauvrissement de la diversité) ont un risque accru de développer des complications liées à l'obésité. Parallèlement, ils ont réussi à améliorer la composition du microbiote grâce à un régime alimentaire spécifique. Il serait ainsi possible de développer un test simple d'identification de ces personnes à risque et de proposer une solution préventive adaptée.

Lire l'intégralité du communiqué de presse : <http://presse.inra.fr/Communique-de-presse/Pauvre-ou-riche-en-bacteries-pas-tous-egaux-face-aux-maladies-liees-a-l-obesite>

Joël Doré est à l'origine de la création de deux entreprises de biotechnologie qui proposent des approches thérapeutiques innovantes et connaissent une croissance commerciale intéressante :

- En 2012, la startup **Enterome Bioscience** (enterome.com), qui jusqu'à aujourd'hui est un partenaire privilégié de MetaGenoPolis. Enterome développe des médicaments et des biomarqueurs pour le diagnostic de maladies chroniques liées à des anomalies de la composition bactérienne de l'intestin (maladies métaboliques et inflammatoires intestinales). La technologie utilisée par la société a été initialement développée à l'Inra.

- En 2014, la startup **MaaTPharma** (maatpharma.com). Agir sur ce microbiote pour la santé est un défi majeur, et ouvre des perspectives révolutionnaires notamment en termes de nutrition et de médecine individualisée. C'est dans cette catégorie que MaaT Pharma, qui s'appuie sur ces résultats de l'Inra, a été primé en 2015 au Concours Mondial de l'Innovation. Son approche concerne le traitement des dysfonctionnements sévères du microbiote intestinal, dans divers contextes cliniques, grâce à des technologies innovantes faisant appel à la microbiothérapie.



Robot de la plateforme de clonage - phénotypage haut débit (MICALIS - Métagénopolis)

© Inra - Bertrand Nicolas