



INRAE

---

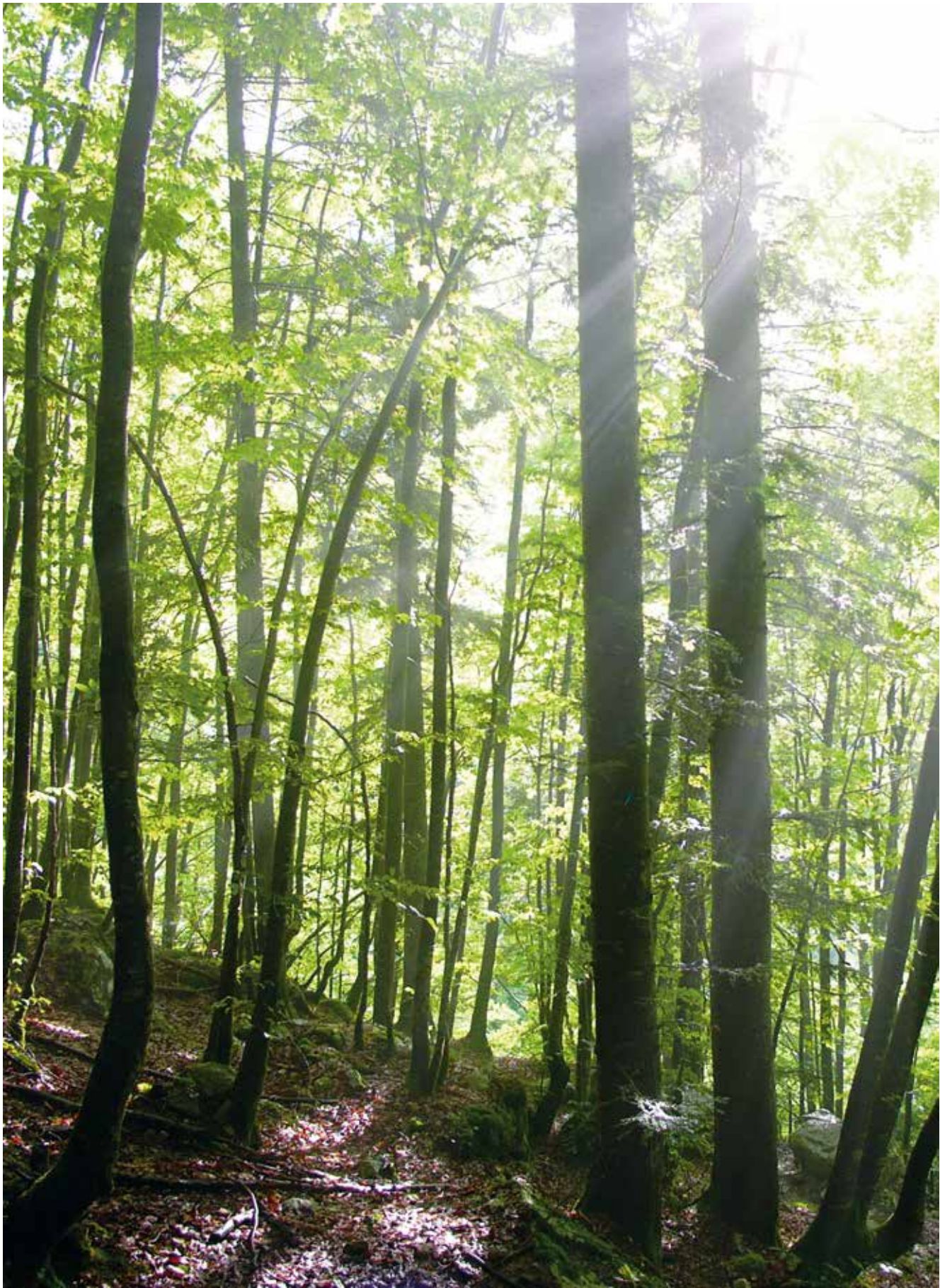
Rapport d'activité  
2021

---

AE



**Image de couverture**  
Capitule de tournesol à maturité.  
Centre Île-de-France-Versailles-Grignon  
© INRAE - J.Weber



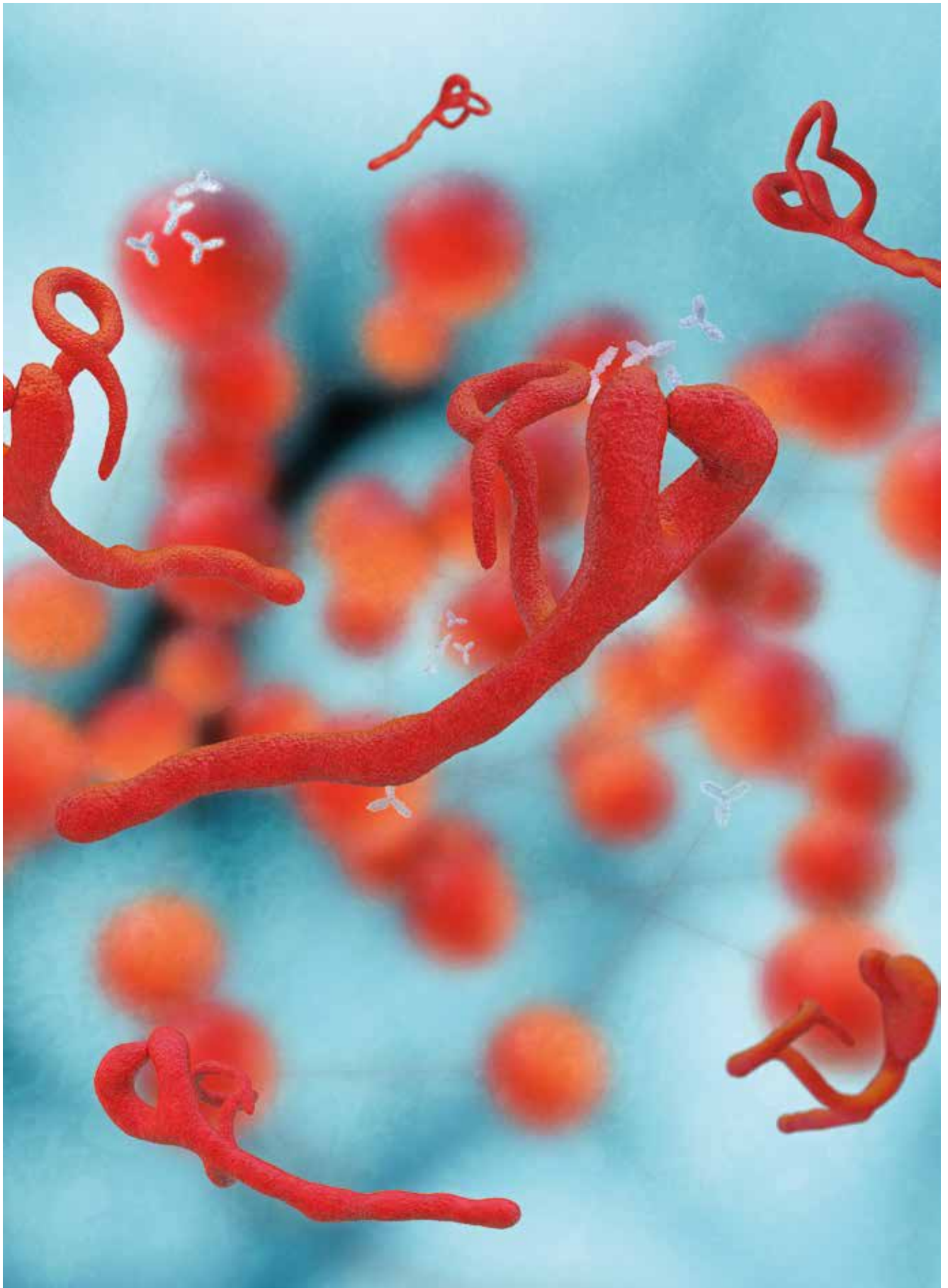
^  
**Répondre aux enjeux environnementaux  
et gérer les risques associés.**  
Une hêtraie de montagne dans les Alpes.  
Centre Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes.  
©INRAE - H. Cochard



^  
**Accélérer les transitions agroécologique et alimentaire en tenant compte des enjeux économiques et sociaux.**  
Agriculture biologique. Salades de plein champs pour une vente sur un marché local (Drôme).  
©INRAE - M. Meuret

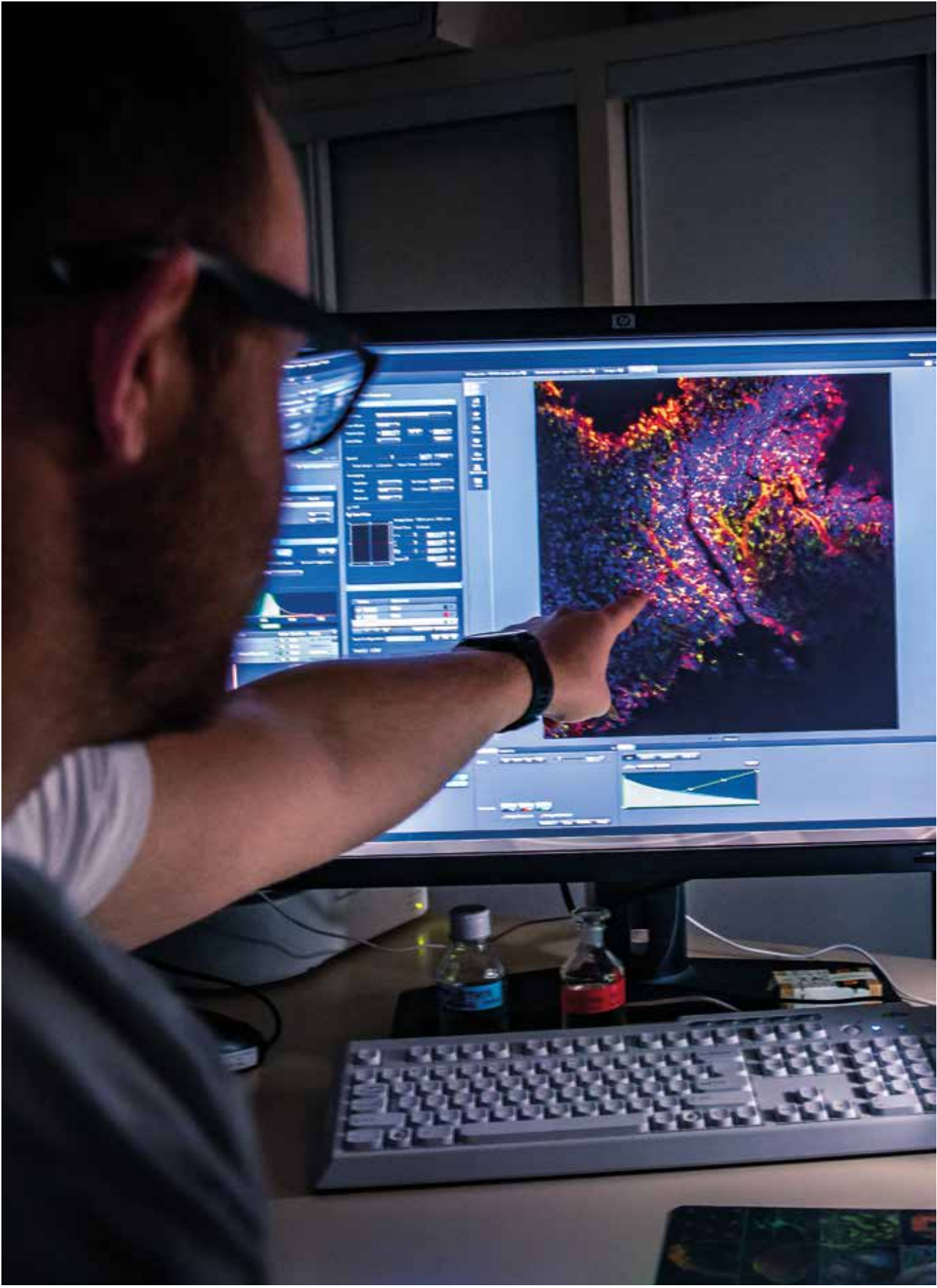
>  
**Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources.**  
Morceau de chenevotte, biomatériau de fibre végétale de chanvre.  
Centre Hauts-de-France.  
©INRAE - C. Maitre





^  
**Favoriser une approche globale de la santé.**  
Virus Ebola - Rendu 3D (illustration).  
©Adobestock

>  
**Mobiliser les sciences de la donnée et les technologies du numérique au service des transitions.**  
Séance d'observation sur un microscope électronique.  
Centre INRAE Val de Loire  
©INRAE - B. Nicolas





SOMMAIRE

**PORTFOLIO**

Orientations scientifiques en images  
p.1

**TEMPS FORTS**

Une année avec INRAE  
p.7

**EDITO**

Entretien avec Philippe Mauguin  
Président-directeur général d'INRAE  
p.10

## Activités scientifiques

CONTRIBUER AUX DÉFIS SCIENTIFIQUES ET SOCIÉTAUX  
p.16

ORIENTATIONS SCIENTIFIQUES

Répondre aux enjeux environnementaux et gérer les risques associés  
p.18

Accélérer les transitions agroécologique et alimentaire en tenant compte des enjeux économiques et sociaux  
p.28

Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources  
p.40

Favoriser une approche globale de la santé  
p.44

Mobiliser les sciences de la donnée et les technologies du numérique au service des transitions  
p.52

SCIENCE OUVERTE  
p.56

## Partenariats et impacts

RENFORCER LES PARTENARIATS SCIENTIFIQUES EN FRANCE, EN EUROPE ET DANS LE MONDE  
p.60

Enseignement supérieur et politique de sites  
p.61

Europe  
p.62

International  
p.63

L'INNOVATION, L'EXPERTISE ET L'APPUI AUX POLITIQUES PUBLIQUES AU SERVICE DE L'IMPACT DE LA RECHERCHE  
p.66

Expertise et appui aux politiques publiques  
p.67

Partenariat et innovation  
p.70

## Vie des collectifs

Des fonctions support en amélioration continue  
p.74

Un institut responsable  
p.78

Les Lauriers INRAE 2021  
p.82

Nos scientifiques distingués  
p.84

Une communication qui se déploie  
p.86

## Chiffres et instances

Conseil d'administration  
p.90

Conseil scientifique  
p.91

Les Commissions scientifiques spécialisées (CSS) et leurs présidents  
p.92

Comité d'éthique consultatif commun INRAE - Cirad - Ifremer - IRD  
p.93

Effectifs ressources humaines et budget  
p.94

Partenariat et innovation  
p.95

Filiales  
p.96

Organigramme INRAE  
p.98

Centres et départements de recherche  
p.100



Directeur de la publication  
Philippe Mauguin

Coordination éditoriale  
Alette Maillard et Edith Legouy

Relecture  
Elodie Ruhr

Crédits photos  
Service image (B. Nicolas / C. Maitre) et droits réservés,  
Fotolia / Adobe Stock

Direction artistique  
Arnaud Veldeman

Conception graphique et réalisation  
Studio Création INRAE

Imprimerie  
BIPRINT  
Zac du Petit Parc - 28, rue des Fontenelles  
78920 Ecquevilly





# Temps forts

11 janvier

## **PREZODE, l'initiative internationale sur les maladies émergentes**

Initiée par INRAE, le Cirad et l'IRD, officiellement lancée par le président de la République le 10 janvier à l'occasion du One Planet Summit (OPS) à Paris, l'initiative PREZODE a pour ambition d'encourager la coopération multilatérale pour prévenir les risques d'émergence zoonotique et lutter contre de futures pandémies. En un an, une centaine d'organisations internationales, organisations non gouvernementales et institutions de recherche ont rejoint l'initiative.

19 mai

## **Avec l'ADEME pour la transition écologique**

Engagés pour la transition écologique, INRAE et l'ADEME signent un partenariat ambitieux pour renforcer leur collaboration et apporter des solutions et des outils d'aide à la décision pour atténuer et s'adapter au changement climatique, mieux stocker le carbone dans les sols, accompagner les systèmes agricoles, alimentaires et forestiers vers une bioéconomie durable, faciliter les transitions durables dans les territoires et préserver la santé humaine et les écosystèmes.

▼  
Profil de sol (stockage carbone).  
©INRAE - G. Levy



27 mai

## **PlantAlliance, l'innovation variétale au service de l'agroécologie**

A l'initiative d'INRAE, 28 acteurs français de la recherche publique et privée, experts des sciences du végétal, créent le consortium PlantAlliance pour accélérer les innovations en génétique, génomique et création variétale. L'innovation par la sélection génétique des plantes représente un levier fondamental de la transition agroécologique pour notamment réduire l'utilisation des produits phytosanitaires et des autres intrants tout en préservant la qualité des productions et pour faire face aux aléas météorologiques et au changement climatique.



©C. Saïdou / agriculture.gouv.fr

29 mai

## **Lancement du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique**

Les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement lancent le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique. Il réunit des parties prenantes pour définir les bases d'une stratégie d'adaptation et s'accorder sur les actions et outils prioritaires. Plus de 20 scientifiques d'INRAE participeront à cette réflexion, en apportant des éléments scientifiques de cadrage et en contribuant à son animation.

De gauche à droite : A. Petit, PDG du CNRS, F. Vidal, ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, P. Manguin, PDG d'INRAE.  
©INRAE - C. Maître



➤ 6 juillet

**Des données de recherche pour tous**

La ministre chargée de la Recherche, Frédérique Vidal, lance à INRAE le 2<sup>e</sup> Plan national pour la science ouverte, qui ambitionne de généraliser les pratiques de science ouverte en France. INRAE est missionné pour créer et gérer la future plateforme de partage des données produites par la recherche française : Recherche Data Gov.

3 septembre

**1<sup>re</sup> participation au Congrès mondial de la nature**

Tous les 4 ans, le Congrès mondial de la nature rassemble plusieurs milliers de leaders et décisionnaires issus de gouvernements, de la société civile, des peuples autochtones, du monde des affaires et du monde universitaire. Il cible la préservation de l'environnement et les solutions offertes par la nature. Pour l'édition 2021 organisée à Marseille, INRAE s'associe à l'Ifremer, le Cnes, le Conservatoire du littoral, l'IRD et le MNHN pour présenter les solutions développées pour mieux gérer les milieux et les espaces naturels.

9 septembre

**Covid-19 : un vaccin par voie nasale 100% français**

Avec l'aide d'un consortium public/privé et grâce à un financement de l'ANR, l'équipe BIOMAP (univ. de Tours et INRAE) a développé un vaccin anti-Covid-19 à base de protéines virales administrable par voie nasale. Les résultats pré-cliniques montrent son efficacité contre le virus original et ses variants tant sur le plan immunitaire qu'en termes de blocage de la contamination.

7 octobre

**La recherche avec et pour l'Afrique**

En marge du Nouveau Sommet Afrique-France, le Cirad et INRAE, partenaires de longue date d'une centaine d'institutions de recherche africaines, allient leurs forces au service des échanges de compétences et de connaissances scientifiques entre l'Europe et l'Afrique, pour augmenter l'impact des recherches agronomiques menées sur les deux continents.



^  
Equipe de recherche BioMAP de l'UMR INRAE-université de Tours travaille à la conception d'un candidat vaccin contre le virus SARS-CoV-2  
©INRAE - B. Nicolas

22 octobre

**ClieNFarm pour des exploitations agricoles durables**

Le projet ClieNFarm 2022-26 est retenu et financé par le programme européen Green Deal. Coordonné par INRAE et réunissant 33 partenaires européens publics et privés, il a pour objectif de développer des solutions techniques, organisationnelles et financières pertinentes au niveau local pour des exploitations agricoles durables, climatiquement neutres et résilientes.

30 octobre

**Le revue Ressources est née !**

Le premier numéro de la revue *Ressources* est distribué en interne et envoyé à des partenaires. Imprimée en 5 000 exemplaires et disponible sur le web, la nouvelle revue d'INRAE éclaire 3 fois par an 3 questions de société à partir de résultats de recherche.

5 novembre

**3 Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) pour accélérer les transitions agroécologique et alimentaire**

Dans le verger circulaire d'INRAE à Gothenron, les ministres chargés de l'Agriculture, de la Recherche, de l'Industrie et le secrétaire général pour l'investissement annoncent de nouvelles stratégies d'accélération du PIA4 qui mobilisent la recherche à travers 3 PEPR dotés de 155 M€. INRAE pilote le PEPR Génétique et sélection variétale, et copilote le PEPR Agroécologie et numérique avec Inria et Systèmes alimentaires, microbiome et santé avec l'Inserm.

▼  
Cérémonie des Lauriers INRAE 2021.  
©INRAE - B. Nicolas



^  
Visite du site de Gothenron en présence de F. Vidal, J. Denormandie et B. Abba.  
©INRAE - S. Vinzant

30 novembre

**Les Lauriers INRAE**

En présence de la ministre chargée de la Recherche, la 2<sup>e</sup> édition des Lauriers INRAE se tient à Paris et célèbre les lauréats distingués par un jury international. La promotion 2021 est accompagnée par les lauréats 2020, qui avaient été récompensés à distance dans le contexte pandémique.

14 décembre

**Signature d'un accord-cadre avec le CNRS**

Partenaires naturels et de longue date dans la recherche de solutions aux défis climatiques, sanitaires et environnementaux, INRAE et le CNRS signent un nouvel accord-cadre de 5 ans. Ils s'engagent ainsi à accentuer la production et la valorisation conjointes de connaissances scientifiques au plus haut niveau pour contribuer à la réalisation des Objectifs de développement durable (ODD).

16 décembre

**INRAE, organisme de recherche français pionnier pour la responsabilité sociétale et environnementale (RSE)**

Le Conseil d'administration d'INRAE valide le 1<sup>er</sup> plan d'actions RSE, porté par une nouvelle direction dédiée, pour déployer une organisation adaptée, assurer la cohérence entre ses travaux de recherche et ses pratiques de travail, évaluer et maîtriser l'impact environnemental de ses activités et affirmer une politique sociale porteuse de sens qui favorise la qualité de vie au travail. ●



^  
Couverture du Rapport sur les objectifs de développement durable 2020.  
©un.org



^  
Réunion de la direction générale avec les présidents de centre et les chefs des départements scientifiques.  
©INRAE - S. Vinzant



## Un collectif engagé

ENTRETIEN AVEC

Philippe Mauguin

Président-directeur général  
d'INRAE

**L'année 2021 fut une année supplémentaire marquée par la crise de la Covid-19. Quel a été son impact au sein d'INRAE ?**

La mobilisation conjointe des équipes d'appui et de recherche de notre Institut nous a permis de faire face à cette pandémie, qui dure, tout en en minimisant son impact.

Notre activité scientifique a globalement repris son cours normal dans les laboratoires comme dans les unités expérimentales. Cela se traduit d'ailleurs par de vraies réussites, tant sur le plan fondamental qu'appliqué. Les dernières données disponibles montrent que le nombre de publications de l'Institut, la part de copublication avec l'étranger et le taux de transfert de nos projets de prématuration n'ont jamais été aussi élevés ! Parallèlement, notre réussite aux appels à projets, français comme européens, demeure très forte.

Nous avons par ailleurs su tirer profit de notre expérience de maintien d'activité en contexte pandémique, permis notamment par l'engagement de nos présidences de centre, directions et services d'appui, directions d'unité et personnels de prévention. J'ai souhaité l'organisation d'un retour d'expé-

“

C'est l'engagement quotidien des 12 000 femmes et hommes de notre collectif qui permet des avancées scientifiques et des solutions nouvelles pour relever le défi des agricultures multi-performantes, d'une alimentation de qualité et d'une gestion durable des ressources et des écosystèmes à l'échelle mondiale.

”

rience (RETEX) sur une première année de gestion de crise, aux échelles locales et nationale, en mobilisant largement l'encadrement de l'Institut. L'analyse des éléments recueillis a montré à la fois la robustesse de notre organisation et des pistes de progrès possibles, pour certaines concrétisées dès 2021, avec une nouvelle offre d'outils numériques collaboratifs ou

la prolongation des contrats de doctorants et de personnels financés sur contrats de recherche.

**Au-delà de la situation sanitaire, qu'avez-vous retenu de cette année 2021 ?**

En tant qu'organisme de recherche finalisée et leader mondial de la recherche sur le continuum agriculture-alimentation-environnement, notre Institut concentre logiquement de fortes attentes. C'est l'engagement quotidien des 12 000 femmes et hommes de notre collectif qui permet des avancées scientifiques et des solutions nouvelles pour relever le défi des agricultures multiperformantes, d'une alimentation de qualité et d'une gestion durable des ressources et des écosystèmes à l'échelle mondiale.

Pour assumer au mieux cette lourde responsabilité et optimiser nos moyens humains et financiers, j'ai souhaité avec le collège de direction de l'Institut une déclinaison opérationnelle rapide d'INRAE 2030, la feuille de route qui fixe nos grandes priorités scientifiques et nos orientations de politique générale. Des plans d'action ont ainsi été élaborés dès 2021, au service de l'innovation, >

- de la science ouverte, des données scientifiques, du partenariat européen et international, de la gestion des ressources humaines, de l'enseignement supérieur et de la formation, de la communication et de la responsabilité sociétale et environnementale (RSE). Dans ce dernier cas, une direction dédiée a été créée pour atteindre nos objectifs faisant d'INRAE le pionnier des organismes de recherche français en la matière. Dans nos domaines scientifiques, 14 nouveaux schémas stratégiques de département ont vu le jour, grâce au travail de réflexion et d'animation orchestré par chaque responsable de département. L'objectif est de traduire finement nos grandes orientations scientifiques, affirmer l'interdisciplinarité, programmer et prioriser nos actions pour les 5 prochaines années.

Je retiens également de belles concrétisations dans le champ de l'innovation, avec le développement d'un vaccin par voie nasale anti-Covid-19 dont les essais cliniques sont en cours, la création de 6 start-up en nutrition, écotoxicologie, santé des sols et optimisation des semences, le lancement de 5 laboratoires partenariaux associés avec des instituts techniques, PME ou start-up, et la labellisation d'un cinquième Institut Carnot.

**INRAE a préparé en 2021 son premier contrat d'objectifs, de moyens et de performance (COMP) avec l'État. Constitue-t-il une évolution importante pour l'Institut ?**

Il était primordial pour notre Institut né en 2020 de la fusion de l'Inra et d'Irstea d'être conforté en partageant avec

l'État des priorités claires. Au-delà des traditionnels objectifs légitimement fixés aux organismes publics, j'ai souhaité pour faciliter leur mise en œuvre que nous puissions engager avec l'État un vrai dialogue autour de la programmation de nos moyens. À l'issue d'un important travail de réflexion et de projection mené avec les ministères de la Recherche, de l'Agriculture et du Budget, nous avons pu, pour la première fois, relever ce défi. Parce que la recherche s'organise sur le temps long, ce contrat

“

L'importance des moyens et la diversité des PEPR confiés à INRAE, sont une belle reconnaissance de la qualité des recherches menées au sein de l'Institut.

”

liant l'Institut et nos ministères de tutelle expose ainsi les attentes de l'État. Il rend visible l'évolution de nos subventions ministérielles dans les prochaines années et nous attribue des ressources nouvelles sur des actions prioritaires. Le COMP INRAE 2022-2026 a été validé par le Conseil d'administration fin 2021.

Il tient compte des apports de loi de programmation de la recherche pour les années 2021 à 2030 et concrétise la hausse sensible de nos moyens. En effet, il s'agissait pour moi d'assurer à l'Institut que l'effort national pour

la recherche française allait bien lui bénéficier. L'augmentation progressive des ressources de l'établissement représentera plus de 20 M€ par an. Dès 2021, elle permet le maintien de l'emploi permanent de l'Institut après 10 ans de baisse continue, le financement de 15 bourses de thèses supplémentaires, 4 recrutements sur chaires de professeurs juniors qui seront titularisés sur des concours en plus de la campagne habituelle, et 7 M€ de revalorisation des salaires de doctorants, chercheurs et ITA.

**Le Premier ministre a annoncé en 2021 le quatrième Programme d'investissements d'avenir (PIA4) avec des moyens conséquents consacrés à des stratégies nationales d'accélération et d'exploration. Des Programmes et équipements prioritaires de recherche (PEPR) pilotés par des organismes de recherche sont financés dans ce cadre. Comment INRAE s'en est-elle saisie ?**

Je souhaite saluer la forte participation de nos équipes dans l'élaboration de ces PEPR, qui ont pour vocation de construire ou consolider le leadership scientifique français dans des domaines considérés comme prioritaires aux niveaux national ou européen et liés à une transformation de grande ampleur de nos sociétés.

INRAE est ainsi impliqué, fin 2021, dans le pilotage ou le copilotage de 8 PEPR qui ciblent les alternatives aux phytosanitaires, la prévention des zoonoses, le numérique pour l'agroécologie, le lien alimentation-microbiome-santé, les produits biosourcés et carburants durables,

la sélection variétale face au défi climatique, l'approche globale de l'eau, et la dynamique du carbone dans les écosystèmes. Nous travaillons dans ce contexte avec nos collègues du CNRS, d'Inria, du Cirad, de l'IRD, de l'Inserm, du BRGM, des universités et des écoles.

L'important budget de 378 M€ ainsi obtenu, va permettre une forte mobilisation dans la durée de la communauté scientifique sur des sujets de recherche finalisés majeurs pour la société, en lien avec de nombreux acteurs de la recherche et de l'innovation. L'importance des moyens et la diversité des PEPR confiés à INRAE, sont une belle reconnaissance de la qualité des recherches menées au sein de l'Institut.

**Les enjeux de recherche semblent de plus en plus imbriqués et globaux. Si la recherche est fortement mobilisée aux échelles française et européenne, comme vous le montrez, qu'en est-il à l'échelle mondiale ?**

Considérant nos sujets de prédilection, la production de connaissances actionnables, l'expertise et l'appui aux politiques publiques opérés par INRAE ne peuvent avoir de sens qu'en ciblant différentes échelles. En France, plus de 20 scientifiques de l'Institut ont par exemple pris part en 2021 au Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, sous l'égide des ministères chargés de l'Agriculture et de la Biodiversité. Il était important de fixer une stratégie d'adaptation et de s'accorder sur les actions et outils prioritaires au niveau du pays. Pour autant, les enjeux climatiques et de

biodiversité doivent être appréhendés à l'échelle du globe. C'est pourquoi INRAE était aussi investi dans le congrès mondial de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) qui s'est tenu à Marseille, rassemblant plusieurs milliers de décisionnaires issus de gouvernements, de la société civile, des peuples autochtones, du monde des affaires ou du monde universitaire. Il était important d'y présenter les solutions que nous développons pour mieux gérer les milieux et les espaces naturels.

Consolider notre leadership à l'international était une des raisons de la création d'INRAE. Pour ce faire, nous continuons de déployer une stratégie partenariale avec les meilleures équipes par la création de laboratoires associés et réseaux de recherche internationaux, dont plus de 20 sont déjà actifs. En parallèle, nous portons des initiatives ambitieuses à l'échelle mondiale. PREZODE, initiée avec le Cirad et l'IRD, lancée par le président de la République au One Planet Summit à Paris début 2021, a ainsi intégré en un an une centaine d'organisations internationales, ONG et institutions de recherche prêtes à coopérer pour prévenir les risques d'émergence zoonotique et lutter contre de futures pandémies. Fin 2021, le Nouveau Sommet Afrique-France insistait sur l'importance des dynamiques de transitions agricole et agroalimentaire dans les pays du Sud. C'est dans ce cadre que nous avons, avec le Cirad et une vingtaine d'institutions de recherche africaines, lancé l'initiative TSARA pour allier nos forces et augmenter l'impact des recherches agromonomiques menées sur les continents africain et européen.

Face à l'augmentation de la population mondiale, au changement climatique, à la raréfaction des ressources et au déclin de la biodiversité, dans un contexte géopolitique incertain et au sein d'une société en proie au scepticisme, je veux promouvoir l'optimisme de la volonté. Au cours des 2 premières années d'existence d'INRAE marquées par une crise sanitaire inédite, la passion pour la recherche et le sens de l'intérêt général ont animé l'ensemble de nos collègues. Aujourd'hui, porté par ces talents conjugués, notre Institut affiche de beaux résultats et dessine ainsi, dans de nombreux domaines, un futur désirable. Gageons que l'intelligence, la volonté et la défense du bien commun continueront de porter leurs fruits. ●



# Activités scientifiques

InFuture biobanque de MetaGenoPolis.  
Centre INRAE Île-de-France-Jouy-en-Josas-Antony.  
©INRAE - B. Nicolas





19023508



## Contribuer aux défis scientifiques et sociétaux



“

Contribuer aux défis scientifiques et sociétaux auxquels font face les systèmes agricoles et alimentaires et les écosystèmes naturels impose de conduire des recherches fondamentales et appliquées aux frontières de la connaissance. Pour cela il convient de mobiliser l'excellence disciplinaire mais aussi les approches interdisciplinaires et transdisciplinaires. Prise de risques, exploration de nouveaux fronts de science, recherches ouvertes et connectées avec une diversité d'acteurs et à différentes échelles (du site à l'international), infrastructures de recherche de pointe, mobilisation de nouvelles méthodes de travail constituent les piliers d'une recherche au service des grands enjeux en agriculture, alimentation et environnement et aux interfaces.

C'est dans ce cadre que l'année 2021 a été consacrée au déploiement des orientations et priorités d'INRAE 2030 :

- élaboration des nouveaux schémas stratégiques des départements ;
  - soutien des recherches systémiques et interdisciplinaires avec le déploiement des 10 métaprogrammes de seconde génération et la construction de plusieurs Programmes et équipements prioritaires de recherche ;
- renforcement de la contribution de nos infrastructures aux feuilles de routes nationales et européennes ;
- préparation du programme de travail 2023-2024 d'Horizon Europe.

”

**Carole Caranta**

Directrice générale déléguée  
Science & Innovations



**Monique Axelos**  
Directrice scientifique  
Alimentation et Bioéconomie

“

Accompagner la transition vers des régimes alimentaires sains et durables c'est aborder toutes les dimensions de l'alimentation aux différents âges de la vie, prendre en compte la diversité des territoires et des pratiques tout le long des filières et comprendre les déterminants des choix des acteurs et des consommateurs. C'est aussi développer des innovations pour que la matière première biologique soit utilisée au mieux sans gaspillage dans une logique d'économie circulaire.

”



**Christian Huyghe**  
Directeur scientifique  
Agriculture

“

La transition agroécologique de l'agriculture repose sur l'utilisation de la diversité spécifique et génétique, dans les parcelles, les troupeaux, les exploitations et les territoires. Elle dessine des possibilités nouvelles pour concilier les performances productives et économiques, et les performances environnementales (biodiversité, climat, santé), qui sont les biens communs d'aujourd'hui et de demain. Cette transition, qu'il faut accompagner au plus près des acteurs, constitue un nouveau paradigme pour la recherche, pour les partenariats au service de l'innovation et pour l'appui aux politiques publiques.

”



**Thierry Caquet**  
Directeur scientifique  
Environnement

“

L'adaptation de l'agriculture et de la forêt aux aléas climatiques et au climat futur implique de dépasser les démarches incrémentales et d'accélérer la reconception des systèmes de production. Tous les leviers n'ayant que des effets partiels, c'est leur combinaison qui permettra l'adaptation et la durabilité des activités. Il s'agit de définir une vision systémique et multifilières, qui tienne compte des particularités des territoires et qui intègre les enjeux trans-sectoriels (eau, sol, énergie, biodiversité...), tout en veillant à la compatibilité avec les stratégies d'atténuation.

”

Orientation scientifique

---

# Répondre aux enjeux environnementaux et gérer les risques associés



Face aux impacts déjà visibles des changements globaux et afin d'anticiper leurs conséquences futures, il est essentiel d'élaborer et surtout de tester des stratégies de réduction de la vulnérabilité et de renforcement de la résilience des systèmes agricoles, alimentaires et environnementaux. Les mécanismes d'adaptation du vivant, la préservation et l'utilisation durable de la biodiversité sont autant de leviers pour favoriser cette résilience. En parallèle, les recherches visent à mieux caractériser les aléas et la vulnérabilité de différents enjeux afin de mieux évaluer et gérer les risques associés.



## Changement climatique : intégrer les démarches d'atténuation et d'adaptation

### L'agriculture de conservation, une alliée dans l'adaptation au changement climatique

L'intérêt de l'agriculture de conservation réside notamment dans ses effets positifs sur le stockage de carbone dans les sols. Elle a longtemps été controversée, accusée notamment de conduire à des baisses de rendement. Une étude récente compare la productivité de systèmes en agriculture de conservation, et de leurs variants, à celle de systèmes basés sur le travail conventionnel des sols avec labour. Cette étude s'appuie sur l'utilisation de méthodes d'apprentissage automatique appliquées à un jeu de plusieurs milliers de données expérimentales couvrant les principales régions agricoles du monde. Elle s'intéresse notamment à 8 espèces majeures cultivées en conditions climatiques actuelles et futures. Les résultats montrent que dans les conditions climatiques futures les performances relatives de l'agriculture de conservation devraient augmenter pour certaines cultures, notamment pour le maïs.

*Nature Climate Change*

[doi.org/10.1038/s41558-021-01075-w](https://doi.org/10.1038/s41558-021-01075-w)

### La résistance des chênes à la sécheresse adaptée à leur habitat

Face au changement climatique et à l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des phénomènes de sécheresse, la question de leur impact sur le dépérissement des forêts est cruciale. Un des facteurs déterminants de la tolérance des arbres à la sécheresse est la capacité du xylème, l'ensemble des vaisseaux qui acheminent l'eau et les nutriments du sol vers les feuilles, à résister à l'embolie. En effet, en cas de sécheresse, des bulles d'air peuvent se former et obstruer ces vaisseaux (phénomène de cavitation), pouvant conduire à la mort de l'arbre. Grâce à une technique optique innovante, des scientifiques d'INRAE et des universités californiennes de Berkeley et Stanford ont étudié la tolérance à la sécheresse de différentes espèces de chênes nord-américains. Leurs résultats indiquent que ces espèces ont évolué vers une plus grande résistance à la sécheresse pour coloniser des zones plus arides. Elles possèdent aujourd'hui une



marge de sécurité relativement importante pour faire face au changement climatique en cours.

*Proc Natl Acad Sci USA*

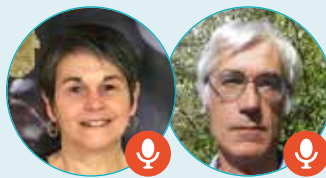
[doi.org/10.1073/pnas.2008987118](https://doi.org/10.1073/pnas.2008987118)

### Le stockage de carbone des sols en France métropolitaine : un levier, dans certaines conditions, pour limiter le réchauffement climatique

Les sols ont un rôle majeur à jouer dans l'atténuation du changement climatique par le biais du stockage, au moins pour un temps, de carbone. Une augmentation annuelle de 0,4 % (4 pour 1 000) du stock de carbone dans les sols pourrait compenser les émissions anthropiques annuelles actuelles de CO<sub>2</sub>, et ainsi contribuer à l'atténuation du changement climatique. Une approche fondée sur le bilan carbone et l'évaluation de la saturation en carbone des sols de France métropolitaine a permis d'évaluer le potentiel d'augmentation de leur capacité de stockage. Une augmentation de 30 à 40 % des apports de carbone organique dans le sol serait nécessaire pour que les stocks augmentent de 4 pour 1 000 par an sur une période de 30 ans. Les auteurs formulent des recommandations de pratiques culturales et d'usages des terres. A une autre échelle, des travaux



L'Observatoire de recherche en environnement (ORE). Les parcelles expérimentales sont instrumentées pour suivre la dynamique du carbone et de l'azote dans les sols, l'eau et l'air ainsi que la biodiversité.  
©INRAE - C. Maître



## LACCAVE, dix ans de recherche en partenariat pour l'adaptation de la viticulture au changement climatique

ENTRETIEN AVEC

**Nathalie Ollat**

Unité Ecophysiologie et génomique fonctionnelle de la vigne

**Jean-Marc Touzard**

Unité Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation

### Pourquoi avoir lancé le projet LACCAVE ?

LACCAVE a démarré en 2012 dans le cadre du métaprogramme ACCAF, qui a soutenu des projets sur l'adaptation de l'agriculture et de la forêt au changement climatique. Nous avons réuni 22 unités de recherche INRAE qui travaillaient sur la vigne et le vin, des laboratoires partenaires et des représentants d'organisations agricoles. Les chercheurs s'interrogeaient sur les effets du changement climatique, par exemple l'avancée des dates de vendange, et sur les leviers d'adaptation possibles. Il s'agissait de constituer un réseau pour partager et produire des connaissances sur les conditions de l'adaptation dans cette filière si stratégique.

### Comment avez-vous organisé l'interdisciplinarité au sein du projet ?

Etudier l'adaptation au changement climatique suppose d'intégrer des connaissances diverses depuis la climatologie et la génétique jusqu'à la géographie ou l'économie, en passant par l'agronomie et l'œnologie. Il faut étudier les mécanismes biophysiques à l'œuvre dans la plante, la parcelle, le vin... mais aussi les actions que peuvent engager les viticulteurs et leurs organisations ou même les consommateurs. Pour cela nous avons construit dès le début une représentation commune des impacts et leviers d'adaptation, puis organisé de nombreux séminaires. Nous avons aussi lancé un exercice de prospective qui a joué un rôle clé pour faire vivre cette interdisciplinarité.

### Quels ont été les résultats les plus marquants ?

Ils concernent les mécanismes, les leviers et les stratégies d'adaptation : le repérage de déterminants génétiques, biologiques et agronomiques des réponses de la vigne aux stress climatiques nécessaires à la création variétale ou au choix d'encépagement ; le suivi d'innovations œnologiques qui fournit des connaissances pour corriger les effets de ces stress sur la qualité des vins ; l'étude du consentement à payer des consommateurs et la combinaison d'approches participatives et de modélisation. Ces résultats sont à l'origine d'avancées méthodologiques pour raisonner localement l'adaptation. A l'échelle nationale, une étude prospective a mis en débat l'avenir viticole et a conduit à l'élaboration d'une stratégie d'adaptation pour la filière.

### Comment le travail de prospective a-t-il permis d'appuyer les acteurs de la filière ?

A partir d'une approche classique d'élaboration de scénarios, l'objectif était d'abord de structurer notre travail avec l'INAO et FranceAgriMer. Puis les 4 scénarios d'adaptation de la filière à l'horizon 2050 ont été soumis à l'analyse de près de 500 acteurs dans 7 régions viticoles, suscitant 2700 propositions d'action ! Celles-ci ont alimenté la réflexion des représentants professionnels qui ont élaboré une « stratégie de la filière viticole face au changement climatique », présentée le 26 août 2021 au ministre de l'Agriculture et de l'Alimentation. Notre démarche a aussi

“

La pluralité des compétences scientifiques en France sur le sujet et l'importance de l'enjeu climatique pour la filière ont favorisé la mobilisation des chercheurs et des professionnels.

”

contribué aux réflexions de la filière pour le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique.

### Quels ont été les facteurs clés du succès de ce projet ?

La pluralité des compétences scientifiques en France sur le sujet et l'importance de l'enjeu climatique pour la filière ont favorisé la mobilisation des chercheurs et des professionnels. La filière très organisée aux échelles régionales et nationale a répondu activement à la dynamique scientifique. Le soutien de INRAE et du Métaprogramme sur une durée de 10 ans est aussi important. Enfin, l'investissement dans l'animation pour faire vivre l'interdisciplinarité a joué un grand rôle !

En savoir plus : [url.inrae.fr/3rVNJOS](http://url.inrae.fr/3rVNJOS)

récents menés dans l'Ouest de la France montrent que l'introduction d'arbres dans les espaces agricoles constitue un levier pour accroître le stock de carbone dans les sols.

*Global Change Biology*

[doi.org/10.1111/gcb.15547](https://doi.org/10.1111/gcb.15547)

*Agriculture, Ecosystems & Environment*

[doi.org/10.1016/j.agee.2020.107174](https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107174)

**Les lacs représentent de véritables sentinelles des impacts du changement climatique sur les écosystèmes**

Une équipe internationale, pilotée par le Rensselaer Polytechnic Institute (Etats-Unis) et à laquelle a participé INRAE, a conduit une étude sur les données de plus de 45 000 profils verticaux d'oxygénation obtenus dans 400 lacs des zones tempérées du globe, principalement en Amérique du Nord et en Europe. Les plus anciens datent de 1941 et les plus récents de 2019. Les résultats montrent que, depuis 1980, les niveaux d'oxygène des lacs étudiés ont en moyenne baissé de 5,5% dans les eaux de surface et de 18,6% dans les eaux profondes, soit une perte 3 à 9 fois plus rapide que celle observée dans le même temps dans les océans. Cette baisse globale d'oxygène dissous dans les lacs impacte directement les écosystèmes, en particulier la vie d'organismes comme les poissons, et altère les cycles bio-

Lac de Roselette et massif du Mont-Blanc (Haute-Savoie).  
©INRAE - G. Balvay



géochimiques, notamment en augmentant le relargage vers la colonne d'eau de nutriments (phosphore par exemple) à partir des sédiments et de gaz à effet de serre comme le méthane vers l'atmosphère. A partir de ces données, INRAE développe actuellement des modèles prédictifs de l'évolution des niveaux d'oxygène des écosystèmes lacustres pour aider les gestionnaires de ces lacs.

*Nature*

[doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03550-y)

**BRÈVE**

**DRYRIVERS, une application smartphone pour surveiller l'assèchement des rivières**



Les réseaux hydrographiques sont essentiels à notre bien-être et comptent parmi les zones de forte diversité biologique les plus menacées sur la planète. Dans le cadre du projet Horizon 2020 DRYVER piloté par INRAE, une équipe internationale de scientifiques collecte, analyse et modélise des données provenant de réseaux hydrographiques sujets aux assèchements à travers deux continents, l'Europe et l'Amérique du Sud. Pour aider les scientifiques à cartographier les assèchements des rivières, les citoyens ont désormais une application à leur disposition.

[www.dryver.eu/](http://www.dryver.eu/)



**À LIRE**

**Programme BAG'AGES (2016-2021) : évaluation des performances de pratiques agroécologiques sur le fonctionnement des sols**

Financé par l'Agence de l'eau Adour-Garonne et par la Région Occitanie et coordonné par INRAE, le programme BAG'AGES a rassemblé pendant 5 années 20 partenaires de la recherche, du développement agricole, de l'enseignement et de divers acteurs économiques et près de 60 agriculteurs.

Les effets du changement climatique sur le bassin Adour-Garonne soulèvent des questions concernant l'adaptation des systèmes de culture, en lien notamment avec la disponibilité en eau au moment où les cultures en ont besoin, mais aussi sur la capacité des milieux à résister à des phénomènes de précipitations intenses dont la fréquence devrait augmenter et qui sont à l'origine de phénomènes érosifs importants.

Le programme BAG'AGES a permis de mieux cerner les effets de leviers agroécologiques mobilisés dans différents systèmes de culture, notamment en agriculture de conservation, sur le fonctionnement des sols du bassin Adour-Garonne et de quantifier leurs niveaux de performances agronomiques, économiques, sociales et environnementales aux échelles de la parcelle, de l'exploitation et du bassin versant.

Consultez la synthèse de l'étude BAG'AGES [url.inrae.fr/3wLktPV](http://url.inrae.fr/3wLktPV)



## Biodiversité : un patrimoine mieux préservé et un levier d'action davantage mobilisé

### Des indicateurs pour quantifier la contribution des adventices aux services écosystémiques

La gestion agroécologique des adventices vise à maintenir des communautés qui à la fois minimisent la nuisibilité de la flore, dont le risque de pertes de rendement, et maximisent la fourniture de ressources trophiques favorables pour la biodiversité fonctionnelle. Or, ces services sont souvent vus comme antagonistes et il est essentiel d'identifier les systèmes de culture à l'origine de communautés adventices qui offrent des compromis intéressants. Dans le cadre du projet européen IWM PRAISE, les chercheurs ont développé une méthodologie pour estimer 9 indicateurs de la contribution des adventices aux services de pollinisation (par les abeilles, bourdons et syrphes) et de contrôle biologique des bioagresseurs (par les carabes, oiseaux et parasitoïdes) ainsi que pour évaluer leur nuisibilité pour le service de production (compétition avec la culture, difficultés à la récolte, évolution du stock semencier d'adventices). Ces indicateurs sont maintenant disponibles pour 1 000 espèces d'adventices. Ils permettront d'estimer la contribution de ces plantes aux services écosystémiques dans une très large gamme de situations.

*Ecological Indicators*

[doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108321](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108321)

### La diversité des plantes cultivées au service d'une agriculture plus durable

L'observation des milieux naturels suggère que la diversité végétale favorise de multiples mécanismes nécessaires au bon fonctionnement et à la stabilité des écosystèmes. Augmenter la diversité des plantes cultivées dans les agrosystèmes est au cœur de la

démarche agroécologique. Le mélange de variétés est notamment une pratique en plein essor depuis 10 ans, mais les résultats sont encore trop imprévisibles en matière de performances. Pour expliquer la variabilité des résultats obtenus avec des mélanges, les scientifiques ont mené une vaste étude basée sur l'analyse de l'information génétique des composantes de mélanges de variétés de blé dur. Les résultats confirment que les mélanges sont en moyenne plus productifs et moins sensibles à une maladie, la septoriose, que les cultures monovariétales. Mais ils mettent aussi en évidence une région du génome pour laquelle la diversité entre variétés s'accompagne d'un rendement plus faible et d'une sensibilité plus élevée à la maladie. C'est la première fois qu'un tel effet est montré chez une espèce cultivée. Au-delà de leur portée agronomique importante, ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives de recherche dans des domaines actuellement en plein essor, comme la compréhension de la coopération entre plantes.

*New Phytologist*

### BRÈVE

#### Seuls 14 % des cours d'eau du globe abritent une biodiversité en poissons peu impactée par les activités humaines

En utilisant un nouvel indicateur de biodiversité qui prend en compte différentes dimensions de la biodiversité (taxonomique, fonctionnelle, phylogénétique), les chercheurs ont montré que plus de 50 % des 2 456 cours d'eau du globe considérés dans l'étude ont vu leur ichtyofaune (partie de la faune rassemblant les poissons) fortement modifiée par les activités humaines. Cette étude souligne ainsi l'urgence de protéger la biodiversité des cours d'eau.

*Science*

[doi.org/10.1126/science.abd3369](https://doi.org/10.1126/science.abd3369)



Diversité floristique (adonis d'automne, vesce, bleuet...) en bordure de champ d'orge d'hiver.  
©INRAE - G. Louviot







[doi.org/10.1111/nph.17915](https://doi.org/10.1111/nph.17915)

### Une analyse dans différentes régions du monde de l'importance des risques associés au déclin des pollinisateurs

Les pollinisateurs sont essentiels à la sauvegarde de la biodiversité, au rendement de nombreuses cultures et à une alimentation saine pour les humains. Dans le cadre d'une vaste collaboration internationale, les chercheurs ont évalué l'importance relative régionale (Europe/Amérique du Nord/Amérique latine/Afrique/Asie-Pacifique/Australie et Nouvelle-Zélande) et mondiale des menaces affectant les pollinisateurs et des risques qui en découlent pour le bien-être humain. Par exemple, la perte d'accès aux pollinisateurs gérés est considérée comme un risque grave pour les peuples d'Amérique du Nord, tandis que l'instabilité du rendement des cultures dépendant des pollinisateurs est classée comme un risque grave ou élevé dans 4 régions, mais seulement comme un risque modéré en Europe et en Amérique du Nord. Globalement, les résultats indiquent que les réponses politiques mondiales devraient se concentrer sur la réduction de la pression exercée par les changements dans l'occupation et l'usage des terres et l'utilisation de pesticides.

*Nature Ecology & Evolution*

[doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9](https://doi.org/10.1038/s41559-021-01534-9)



Etude et mise au point de méthodes visant à évaluer les effets non intentionnels des pratiques agricoles sur la biologie des insectes pollinisateurs, ici l'abeille domestique.

©INRAE - C. Slagmulder

### Une méthode pour maximiser le fonctionnement des écosystèmes

Une équipe internationale de recherche, coordonnée par INRAE et le CNRS, a conçu une méthodologie inédite pour étudier comment la distribution de la ressource entre espèces (leur biomasse) impacte le fonctionnement des écosystèmes. Faut-il miser sur une espèce phare et performante, ou au contraire partager équitablement la ressource entre plusieurs espèces pour maximiser les bénéfices de la biodiversité ? Pour tester leurs hypothèses, les chercheurs ont reconstitué 570 écosystèmes miniatures. Au sein de chaque écosystème, ils ont fait varier la biomasse disponible pour chaque espèce (la ressource) pour « manipuler » différentes facettes de la biodiversité. Les résultats montrent l'importance du partage équitable des ressources entre espèces pour maximiser le fonctionnement des écosystèmes.

*Proc Natl Acad Sci USA*

[doi.org/10.1073/pnas.2019355118](https://doi.org/10.1073/pnas.2019355118)



## Compréhension et mobilisation des mécanismes d'adaptation du vivant pour la sélection génétique et la préservation de la biodiversité

### Le microbiote des racines est-il toujours un allié des plantes ?

Les progrès du séquençage haut débit et les connaissances acquises pendant plusieurs décennies attestent de l'impact des communautés microbiennes sur le phénotype des plantes, concernant leur croissance, développement et immunité. Sur la base de ces connaissances, les scientifiques ont réussi à sélectionner des microbiotes responsables d'une augmentation (jusqu'à +15 %) ou d'une diminution (jusqu'à -12 %) de la surface foliaire et de la concentration en chlorophylle de la graminée *Brachypodium distachyon*. Pour la première fois, il a été observé que le phénotype associé aux microbiotes sélectionnés était transféré à la descendance des plantes lorsque la structure du microbiote se stabilisait. Toutefois, les associations microbiote-plante ne sont pas toujours bénéfiques. Dans une étude originale sur la plante modèle *Arabidopsis thaliana*, les chercheurs ont mis en évidence, à partir d'une large population de champignons endophytes, les gènes qui différencient les champignons bénéfiques des champignons pathogènes pour les plantes. Ces travaux offrent de nouvelles perspectives dans l'utilisation du microbiote pour améliorer la santé des plantes cultivées.

*Ecology Letters*

[doi.org/10.1111/ele.13916](https://doi.org/10.1111/ele.13916)

*Nature Communications*

[doi.org/10.1038/s41467-021-27479-y](https://doi.org/10.1038/s41467-021-27479-y)

### Découverte d'une résistance naturelle au virus du court-noué chez la vigne : un espoir pour la viticulture

Le court-noué est une maladie virale qui

affecte la longévité, le potentiel de production et la qualité des raisins. Il est transmis aux racines de la plante par un minuscule ver (nématode) présent dans le sol qui migre ensuite vers les parties aériennes où il cause de multiples dommages. Des méthodes préventives permettent de réduire l'impact de la maladie, mais aucune méthode curative n'est disponible à ce jour. Des travaux associant génétique et pathologie végétale ont permis de découvrir un facteur génétique qui confère à la variété de vigne riesling une résistance naturelle. Cette découverte ouvre la voie à la première solution génétique efficace et respectueuse de l'environnement pour contrôler la maladie du court-noué de la vigne qui touche près de 70 % des vignobles français

*Communications Biology*

[doi.org/10.1038/s42003-021-02164-4](https://doi.org/10.1038/s42003-021-02164-4)

### Le champignon pathogène qui choisit ses armes en fonction de ses hôtes

Lorsqu'un agent pathogène acquiert au cours de l'évolution la capacité d'infecter de nouveaux hôtes, c'est une nouvelle maladie qui apparaît. Ainsi, certains champignons pathogènes sont capables de causer des maladies sur plusieurs centaines d'espèces végétales. Cette caractéristique ne peut pas résulter d'une simple accumulation d'armes moléculaires. En comparant les outils moléculaires utilisés par le champignon de la pourriture blanche (*Sclerotinia sclerotiorum*) pour infecter des plantes de familles botaniques variées, les chercheurs ont observé que ce parasite adapte les outils moléculaires dont il dispose lors de son passage sur les différentes espèces. Il ajuste ainsi sa



Pathologie sur plant de tomates.  
©INRAE



stratégie infectieuse à ses victimes. Cette stratégie utilisant à bon escient les outils dont il dispose est suffisante pour causer des maladies sur des espèces variées. Ces résultats pourraient ouvrir de nouvelles pistes pour réduire les dégâts importants de la pourriture blanche sur les grandes cultures.

*The ISME Journal*

[doi.org/10.1038/s41396-021-01058-x](https://doi.org/10.1038/s41396-021-01058-x)

### La pêche intensive perturbe la sélection naturelle

La pêche intensive provoque en moyenne une diminution de 30 % de la taille du corps des poissons. Cette réduction de la taille limite les rendements de la pêche et a des conséquences écologiques importantes : des poissons plus petits sont des prédateurs moins efficaces et des proies plus faciles. Des chercheurs se sont intéressés aux mécanismes d'évolution inhérents aux populations de poissons pêchés. Leurs résultats suggèrent que ce rapetissement ne résulte pas seulement de la pêche sélective des grands poissons, mais aussi de l'affaiblissement par la pêche de la sélection naturelle,

qui dépend de la densité d'individus au sein de ces populations. Ces résultats donnent des éléments pour le développement d'une pêche plus durable et responsable, pour assurer un approvisionnement plus juste et sécuriser l'alimentation de demain.

*Ecology Letters*

[doi.org/10.1111/ele.13677](https://doi.org/10.1111/ele.13677)

### Le mécanisme de défense des abeilles face au *Varroa*

L'acarien *Varroa destructor* est un véritable fléau qui peut décimer des colonies entières d'abeilles domestiques. Certaines colonies d'abeilles sont cependant capables de survivre à ce parasite en l'absence de traitement, montrant ainsi des capacités naturelles de résistance au *Varroa*. En étudiant le comportement de défense des abeilles face à ce parasite, les chercheurs ont découvert que les alvéoles parasitées par le *Varroa* émettent un cocktail spécifique de molécules, non décrites jusqu'à présent, qui déclenche chez certaines abeilles un comportement hygiénique. Elles percent et nettoient les alvéoles contaminées, permettant ainsi de préserver la colonie. Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives dans la lutte contre *Varroa destructor* par la mise au point de tests pour les apiculteurs permettant la sélection de colonies naturellement résistantes au parasite.

*Nature Chemical Biology*

[doi.org/10.1038/s41589-020-00720-3](https://doi.org/10.1038/s41589-020-00720-3)

### Regards sur la sélection génomique appliquée à différentes espèces végétales et animales

La sélection génomique est une méthode générique qui peut être mise en œuvre pour toutes les espèces animales et végétales. Elle est appliquée en France depuis 2009 pour la sélection sur la voie mâle en bovin laitier. Elle a depuis été pratiquée sur d'autres

#### BRÈVE

##### Fécondité des arbres et vieillissement biologique

Les graines des arbres sont essentielles pour la régénération des forêts, qui rendent de nombreux services écosystémiques. Pour les gérer et les conserver efficacement, il est essentiel de savoir si des baisses de fécondité sont susceptibles de se produire au cours de la vie de l'arbre, et à quelle taille ou à quel âge. Une très vaste étude internationale menée sur les différents continents révèle que la fécondité des arbres atteint un pic ou un plateau lorsqu'ils parviennent à leur taille adulte, puis diminue.

*Proc Natl Acad Sci USA*

[doi.org/10.1073/pnas.2106130118](https://doi.org/10.1073/pnas.2106130118)

##### Deux jeunes chercheuses INRAE lauréates du Conseil européen de la recherche (ERC Starting grant)



**Claudia BARTOLI** développe au sein de l'Institut de Génétique environnement et protection des plantes à Rennes le projet HoloE2Plant qui porte sur l'étude des mécanismes Coévolutifs entre le microbiote et son hôte.



**Kalina HAAS** cherche à éclaircir les mécanismes de croissance des plantes en s'appuyant sur une nouvelle technique d'imagerie à super résolution. Le projet STORMtheWALL est réalisé au sein de l'Institut Jean-Pierre Bourgin.

espèces. Est-elle pour autant appliquée de manière identique de la vache au peuplier en passant par l'abeille et le blé ? Des chercheurs INRAE en génétique et économie ont conduit une série de travaux pour répondre à cette question. Les résultats ont permis de mettre en évidence trois principales logiques de mise en œuvre qui peuvent éventuellement être combinées entre elles. De grandes tendances se dégagent quant à la manière de mettre en œuvre la sélection génomique, mais le choix des acteurs peut déroger à ces tendances en fonction de particularités liées aux spécificités biologiques des espèces, à l'organisation de la sélection ou au contexte économique.

*Frontiers in Genetics*

[doi.org/10.3389/fgene.2021.629737](https://doi.org/10.3389/fgene.2021.629737)

*Genetics and Genomics*

[doi.org/10.20900/cbagg20210008](https://doi.org/10.20900/cbagg20210008)

Expérimentations en plaine céréalière sur les interactions entre les caractéristiques des colonies, celles des paysages et les contraintes environnementales.  
©INRAE - C. Maître





## Evaluation et gestion des risques naturels et climatiques



26

### Montée en altitude du risque avalanche avec le changement climatique

Les évolutions de l'activité avalancheuse en réponse au changement climatique restent encore peu connues, faute de séries d'observations d'avalanches de suffisamment longue durée et de techniques statistiques capables de rendre compte des nombreux biais inhérents aux rares séries existantes. Pour y remédier, un groupe de scientifiques a étudié l'évolution de l'activité avalancheuse entre la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle et 2014 dans le Massif vosgien. Les scientifiques ont utilisé une approche pluridisciplinaire innovante combinant analyse du corpus de sources historiques (archives écrites, documents iconographiques, témoignages, etc.), modélisation statistique et climatologie. Leurs résultats montrent qu'une augmentation de 1,5 °C a induit une remontée en altitude des avalanches et une réduction par 7 de leur nombre.

*Proc Natl Acad Sci USA*

[doi.org/10.1073/pnas.2107306118](https://doi.org/10.1073/pnas.2107306118)



Avalanche  
au Lautaret.  
©INRAE

### Plus de la moitié des cours d'eau mondiaux sont intermittents : une première cartographie à l'échelle mondiale

De nombreux cours d'eau autrefois pérennes sont devenus intermittents au cours des 50 dernières années en lien avec le changement climatique, le changement d'usage des terres et avec l'évolution des prélèvements d'eau pour de multiples usages. Bien souvent, les cours d'eau intermittents sont gérés de manière inadéquate voire exclus des actions de gestion et des politiques publiques relatives à la conservation des écosystèmes, alors qu'ils abritent une biodiversité unique, composée de nombreuses espèces adaptées aux alternances de présence et d'absence d'eau. Une nouvelle étude portant sur 64 millions de kilomètres de cours d'eau dans le monde révèle qu'entre 51 et 60 % cessent de couler périodiquement ou sont à sec pendant une partie de l'année. Ces résultats découlent du tout premier effort de quantification empirique et de cartographie de la distribution mondiale

des rivières et des ruisseaux intermittents. Ils doivent conduire à mettre en œuvre des démarches adéquates pour gérer ces écosystèmes.

*Nature*

[doi.org/10.1038/s41586-021-03565-5](https://doi.org/10.1038/s41586-021-03565-5)

### Impacts sur le stockage de carbone des dégradations environnementales en Amazonie

Le changement climatique et les activités humaines fragilisent la forêt amazonienne. Cependant, aucune étude n'avait encore pu quantifier l'impact des changements de politique environnementale sur le stockage de carbone. En effet, si l'étendue de la déforestation peut être assez bien évaluée grâce à des images satellites, les multiples dégradations de la forêt (coupes ponctuelles d'arbres, incendies ou sécheresses) sont beaucoup plus difficiles à suivre. Une équipe associant des scientifiques d'INRAE, du CEA et de l'université d'Oklahoma a combiné des observations satellitaires de la biomasse végétale et de surveillance de la déforestation pour étudier l'évolution des stocks de carbone de la forêt amazonienne brésilienne entre 2010 et 2019. Durant cette période, les pertes de carbone ont été supérieures aux gains d'environ 18%.

*Nature Climate Change*

[doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5](https://doi.org/10.1038/s41558-021-01026-5)

### Effets du climat sur les interactions entre arbres, insectes et prédateurs : un projet original de sciences participatives en Europe

Les chercheurs d'INRAE ont initié en 2018 un projet de sciences participatives intitulé Gardiens des chênes impliquant des écoliers, collégiens et lycéens de différents pays européens pour étudier les mécanismes de résistance des chênes aux insectes

herbivores, sous différents climats. Pendant 2 ans, des enseignants et leurs élèves ainsi que 112 partenaires de 17 pays européens ont appliqué le même protocole, mesuré les dégâts causés par les insectes herbivores sur les arbres, le long d'un gradient géographique allant de l'Espagne à la Finlande, couvrant ainsi l'aire de répartition du chêne pédonculé. Leurs premiers résultats indiquent que tous les insectes herbivores ne sont pas influencés de la même manière par le climat ou les défenses des arbres. Le projet se poursuit pour agréger des données sur le long terme et pour caractériser la biodiversité associée au chêne.

*Global Ecology and Biogeography*  
[doi.org/10.1111/geb.13244](https://doi.org/10.1111/geb.13244)

Chêne.  
©INRAE - M. Meuret



Orientation scientifique

---

# Accélérer les transitions agroécologique et alimentaire en tenant compte des enjeux économiques et sociaux



La reconception en profondeur des systèmes de production agricoles et des systèmes alimentaires est nécessaire pour répondre aux besoins alimentaires, en quantité et qualité, des populations humaines tout en limitant les effets négatifs des pratiques de production. Différents leviers et les modalités de leur articulation font l'objet de recherches au sein d'INRAE : régulations biologiques, diversité génétique, diversité des productions et des systèmes de production végétaux et animaux, évolution des régimes alimentaires, etc. Parce que les transitions ne sont pas qu'une problématique technique, les recherches abordent aussi les motivations et les freins à l'adoption par les différents acteurs des nouvelles façons de produire ou bien encore les politiques publiques susceptibles d'accompagner les transitions.



## Renforcer la compréhension des processus des transitions et enjeux d'autonomie



### Transition agroécologique : une construction de solutions fondée sur les valeurs des agriculteurs plutôt que sur l'exemple

Pour réussir la transition vers des modes de production agricole durables qui aient du sens pour les agriculteurs, la mobilisation des acteurs de terrain est indispensable. C'est ce à quoi s'est attelé le projet de recherche participative avec l'Association vétérinaires-éleveurs du Millavois (AVEM). Pendant 4 ans, une stratégie fondée sur des preuves issues de la pratique a ainsi été testée avec des éleveurs de la zone de Roquefort. Si l'outil de diagnostic mis en place n'a pas permis d'identifier des pratiques pouvant s'imposer à tous compte tenu de la complexité et de la singularité

des situations, il a cependant permis d'ouvrir des discussions sur les valeurs mises en évidence. Des ateliers ont ensuite été organisés avec des agriculteurs prêts à aider leurs collègues dans leur transition agroécologique. L'outil de diagnostic, initialement prescriptif, a alors été utilisé pour évaluer la pertinence aux yeux du collectif des solutions qui faisaient sens dans la situation de chaque agriculteur. Ce travail propose un cadre conceptuel pour à la fois interpréter la transition et penser son accompagnement. Il articule le projet individuel des acteurs qui transforment leurs pratiques avec le collectif qui rassure lors de la prise de risques, favorise l'apprentissage social de nouvelles pratiques et redéfinit les



Equipe de l'observatoire de recherche en environnement (ORE) de Lusignan.  
©INRAE - C. Maître

normes sociales. La création du Campus of Agroecological Transitions sur le site toulousain repose sur ces éléments de cadrage.

*Agriculture and Human Values*  
[doi.org/10.1007/s10460-021-10258-2](https://doi.org/10.1007/s10460-021-10258-2)

### Expérimentations à la ferme : un mouvement mondial pour accélérer les transitions du monde de l'agriculture

Une nouvelle génération d'expérimentations à la ferme coconstruites avec les agriculteurs, les On-Farm Experimentation (OFE), propose de nouvelles façons d'innover en agriculture. Une équipe de recherche internationale, rassemblant 9 pays (Argentine, Australie, Canada, Chine, Etats-Unis, France, Malaisie, Maroc, Royaume-Uni) et impliquant en France INRAE et l'institut Convergences agriculture numérique (DigitAg), s'est constituée pour établir les principes fondamentaux de ce mouvement OFE et pour argumenter en faveur de sa reconnaissance institutionnelle. Leur analyse indique que ce modèle collaboratif qui se développe dans le monde entier pourrait permettre d'accélérer les transitions agroécologique et digitale. L'expérimentation ici n'est plus un outil pour valider des théories, mais bien une méthode concrète pour encourager la création de savoirs locaux et appliqués.

*Nature Food*  
[doi.org/10.1038/s43016-021-00424-4](https://doi.org/10.1038/s43016-021-00424-4)



▼ Récupération sur le terrain de capsules remplies de terre pour piéger la microflore du sol. ©INRAE - C. Maître

contribue à ouvrir un nouveau champ de recherche sur la transition.

Peter Lang International Academic Publishers  
ISBN 978-2-8076-1852-7 et [url.inrae.fr/3xRaNUT](http://url.inrae.fr/3xRaNUT)

## À LIRE

### Le Programme de recherche national pour et sur le développement régional (PSDR)

Le programme PSDR lancé il y a 25 ans est un programme de recherche en partenariat, pionnier dans les façons de conduire la recherche et de produire des connaissances. Il a été porteur de méthodes novatrices impliquant les acteurs de terrain sur les questions de développement régional. Conçu pour répondre à la complexité des problèmes contemporains, il s'est affiné et s'est amélioré au cours des générations. Cofinancé par les Régions, il associe les acteurs de terrains et les collectivités territoriales.

Cet ouvrage est consacré à la 4<sup>e</sup> génération du PSDR. Sur chaque thématique, une série d'entretiens fait découvrir les coulisses des projets et met en lumière les succès coconstruits dans le temps mais aussi les difficultés rencontrées.

Des pistes de réflexions ouvrent la voie vers la future génération du programme engagée en 2021. Transition en territoires de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (TETRAE), qui fait la part belle à des dispositifs d'innovation ouverte (voir p.69).

[doi.org/10.17180/1BAH-BZ35](https://doi.org/10.17180/1BAH-BZ35)



### Compensation écologique : comment proposer des mesures efficaces pour favoriser l'agroécologie

En France, tout projet d'aménagement du territoire doit mettre en œuvre des mesures pour éviter, limiter et si nécessaire compenser les impacts générés sur l'environnement. Le programme interdisciplinaire CompAg, coordonné par INRAE et impliquant la Fédération des conservatoires d'espaces naturels, l'entreprise Agrosolutions et le réseau Terre de liens, explore comment proposer des mesures de compensation écologique pour favoriser la transition agroécologique. Ces travaux de recherche identifient plusieurs pistes d'amélioration pour favoriser cette transition. Il s'agit notamment de mieux prendre en compte la nature dite ordinaire (espèces et écosystèmes non spécifiquement protégés), dont font partie les terres agricoles, dans les projets d'aménagement du territoire et d'appliquer une gouvernance territoriale de la compensation écologique et de la transition agroécologique, trop souvent pensée à l'échelle de la parcelle.

Accès au rapport  
[url.inrae.fr/3ofomro](http://url.inrae.fr/3ofomro)

### Réussir les transitions agroécologiques, entre déterminisme et vision plus ouverte

La transition agroécologique est un phénomène complexe parce que multidimensionnel – les changements sont à la fois techniques, sociaux, écologiques et politiques – et parce qu'il se déploie à plusieurs échelles depuis l'exploitation, voire la parcelle agricole, jusqu'aux systèmes alimentaires. Les contributions de chercheurs de 8 pays ont été réunies au sein de l'ouvrage *Agroecological transition, between determinist and open-ended visions*. Illustré par des études de cas issues de recherches de plusieurs institutions, le livre témoigne de la façon dont les acteurs s'engagent dans les transitions en combinant des stratégies multiples : faut-il adopter une perspective dite déterministe appuyée sur la prédétermination de l'objectif ou une perspective ouverte dite open-ended considérant l'indétermination comme un atout ? Ce livre interdisciplinaire analyse la diversité des manières d'aborder la transition agroécologique. Il rend ainsi visible l'état de l'art et





## Progression vers des agricultures sans pesticide de synthèse

### La mobilisation des éléments paysagers pour lutter contre les bioagresseurs des grandes cultures : un levier complexe à utiliser

La gestion des paysages est souvent vue comme l'un des leviers à mobiliser pour améliorer la gestion des bioagresseurs et limiter l'usage des pesticides. Cependant, les publications scientifiques rapportent des effets opposés des éléments paysagers selon les bioagresseurs. Dans cette nouvelle étude, les données françaises d'épidémiologie pour 30 des principaux bioagresseurs des grandes cultures sont mises en relation avec les cartographies nationales des espaces arborés et des grandes cultures (blé, colza, maïs, orge, betterave, pomme de terre). La tendance générale est que les bioagresseurs sont plus présents dans une culture lorsque celle-ci était cultivée sur de plus grandes surfaces dans les paysages l'année précédente. La surface de la culture hôte la même année a un effet plus complexe. Par ailleurs, aucune tendance générale protectrice n'est mise en

évidence pour les espaces semi-naturels (haies, prairies, forêts) dont les effets varient selon les bioagresseurs. Il est donc difficile de proposer des paysages suppressifs génériques. En revanche, il semble possible d'améliorer la gestion des cultures dans le paysage et de prendre en compte les risques paysagers pour adapter les pratiques de protection des cultures.

*Ecography*  
doi.org/10.1111/ecog.05433

### Le génome du charançon décodé : un outil supplémentaire pour lutter contre ce ravageur

Le charançon des céréales (*Sitophilus oryzae*) est considéré comme l'insecte ravageur le plus destructeur des céréales entreposées. Les méthodes utilisées pour limiter les pertes dans les stocks sont généralement les insecticides chimiques qui peuvent induire une intoxication chronique des consommateurs, une résistance chez les insectes et avoir un impact négatif sur l'environ-

nement. L'analyse fine du génome de cet insecte montre une abondance de séquences répétées mobiles dans le génome, qui constituent ainsi des forces évolutives majeures. Ces séquences sont en potentielle association avec la présence d'une bactérie symbiotique qui assure la survie du charançon. Ces résultats ouvrent de nombreuses perspectives, comme le développement de nouveaux moyens de lutte ciblant cette interaction symbiotique.

*BMC Biology*  
doi.org/10.1186/s12915-021-01158-2

### Ecologie chimique inverse et apprentissage automatique : une combinaison efficace pour le biocontrôle des insectes ravageurs

Une méthode de lutte sélective et sans danger pour lutter contre les insectes ravageurs consiste à perturber leur comportement en jouant sur leur odorat. Mais appliquer une telle méthode nécessite une connaissance

Deux charançons rouges mâles montrant la variabilité de la coloration chez l'adulte. ©INRAE - D. Rochat



#### BRÈVE

### Un peptide de tique pour lutter contre la fusariose du blé, un espoir pour le biocontrôle

Vecteur d'agents pathogènes, notamment ceux responsables de la maladie de Lyme, la tique dispose d'une grande capacité de résistance lui permettant de s'adapter à différents environnements. Les défensines, une famille de peptides antimicrobiens, sont une des composantes majeures de son système immunitaire. Une de ces défensines s'est avérée très efficace pour inhiber la croissance de *Fusarium graminearum*, principal champignon responsable de fusarioses chez les céréales et producteur des mycotoxines.

*Scientific Reports*  
doi.org/10.1038/s41598-021-86904-w

- fine des substances odorantes, attractives ou répulsives, détectées par l'insecte ciblé, et de leur effet sur son comportement. Le nombre de substances à tester est potentiellement illimité, et les expériences de comportement particulièrement longues et coûteuses à réaliser. Les scientifiques ont utilisé une approche d'écologie chimique dite inverse. Celle-ci consiste à partir des protéines olfactives elles-mêmes pour accélérer l'identification de nouveaux signaux chimiques actifs pouvant agir via le récepteur sur le comportement des insectes néfastes. Ils ont couplé cette approche à l'utilisation de l'apprentissage automatique centré sur la relation entre la structure des molécules et leur activité biologique et cribler ainsi 800 substances odorantes naturelles. Une trentaine d'entre elles ont été retenues et testées ensuite *in vivo* pour leur capacité à induire un effet sur le ravageur. Ces travaux montrent l'efficacité des approches *in silico* pour identifier de nouveaux odorants actifs sur le comportement de ravageurs.

*Cellular and Molecular Life Sciences*  
doi.org/10.1007/s00018-021-03919-2

### Biologie assistée par la transcriptomique : deux ans dans la vie d'un champignon phytopathogène

Certains champignons sont des agents pathogènes des plantes qui menacent la sécurité alimentaire mondiale. La connaissance de leur biologie et de leur cycle pathogène est essentielle pour la conception de stratégies de lutte respectueuses de l'environnement. De nombreuses parties de leur cycle de vie restent inconnues, en raison de la complexité de celui-ci et de limitations techniques ne permettant pas de le reproduire dans les conditions du laboratoire ou d'y avoir accès *in natura*. Une approche de séquençage aléatoire à haut débit des molécules d'ARN de la totalité du cycle de vie a permis d'identifier des vagues d'expression génique lors de l'interaction du champignon *Leptosphaeria maculans* avec la plante hôte. Ces travaux, sans équivalent à ce jour étant donné leur ampleur, ouvrent de nouvelles voies pour le contrôle des maladies des plantes, en identifiant des effecteurs spécifiques de différents stades de la colonisation des plantes qui pourraient être

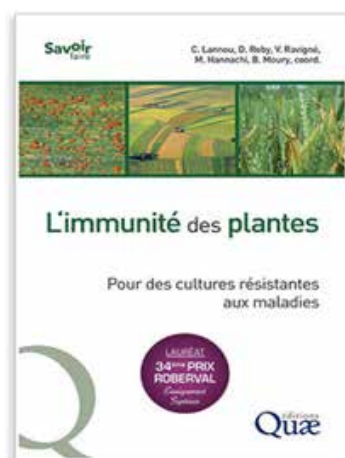
utilisés comme cibles pour l'identification de nouveaux gènes de résistance durable aux maladies.

*BMC Biology*  
doi.org/10.1186/s12915-021-00989-3

### Identification d'un gène de résistance à la septoriose du blé

La septoriose du blé est l'une des principales maladies s'attaquant aux cultures de blé tendre dans le monde. Causée par le champignon *Zymoseptoria tritici*, elle provoque en France chaque année entre 350 et 700 millions d'euros de pertes pour la filière. Un consortium composé d'INRAE, de l'université de Wageningen (Pays-Bas) et de l'US Department of Agriculture (Etats-Unis), en collaboration avec le producteur de semences Florimond Desprez, a identifié et caractérisé un gène qui procure une résistance à de nombreuses souches de *Zymoseptoria tritici*. Ces travaux ouvrent de nouvelles perspectives pour la sélection variétale du blé.

*Nature*  
doi.org/10.1038/s41467-020-20685-0



## À LIRE

### Comprendre l'immunité des plantes pour le développement d'une protection agroécologique

Les plantes disposent d'une immunité naturelle qui leur permet de résister aux maladies et aux agressions parasitaires dans leur environnement. Le développement de l'agriculture a cependant créé des milieux très favorables à l'émergence de nouvelles maladies. Cette vulnérabilité sanitaire s'est ensuite accentuée avec l'intensification agricole et le recours généralisé aux pesticides de synthèse. Ce modèle est désormais remis en cause et le développement d'une protection agroécologique des cultures devient une nécessité. Déchiffrer l'arsenal de défense des plantes face aux agressions parasitaires est essentiel pour produire des variétés résistantes et réduire la dépendance de l'agriculture à la protection chimique. Cet ouvrage coordonné par des chercheurs d'INRAE, du CNRS et du Cirad explicite les concepts fondamentaux et s'appuie sur des études de cas pour réaliser une synthèse très complète des travaux en biologie, en modélisation et en sciences sociales sur ce qu'est l'immunité végétale et sur la manière dont elle pourrait concourir à une agriculture respectueuse de l'environnement.

*Edition Quæ*  
ISBN 978-2-7592-3233-8



## Transition des élevages

### Le déterminisme génétique de la ponte chez les poules : une clé pour accompagner la transition vers des élevages sans cages

Pouvoir sélectionner des poules évoluant librement dans de grands groupes tout en garantissant l'efficacité de la ponte dans les nids est une condition à la transition vers des élevages plus respectueux des volailles. Les chercheurs ont utilisé des nids électroniques pour suivre le rythme de ponte individuel de plus de 2 000 poules, élevées en grand groupe au sol et sans cage, pendant 40 semaines. Ces nids électroniques enregistrent en continu diverses informations qui étaient, jusqu'à présent, impossibles à mesurer sur de grands groupes de poules élevées au sol. Les résultats indiquent que l'emploi du temps de ponte des poules pondeuses est influencé par des facteurs génétiques. Des études complémentaires sont en cours pour identifier les régions du génome et les gènes qui gouvernent l'expression de ces nouveaux caractères.

*Plos One*

[doi.org/10.1371/journal.pone.0251037](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251037)

### Des biomarqueurs pour supprimer l'usage des traitements hormonaux des jeunes truies

Dans les systèmes d'élevage conventionnels, les éleveurs de porcs utilisent des hormones synthétiques pour synchroniser les cycles des truies mises à la reproduction pour la première fois. Ce principe de synchronisation est nécessaire pour la conduite en bande, qui présente de nombreux avantages sanitaires et organisationnels (simplification du travail de l'éleveur). Toutefois, les résidus hormonaux retrouvés dans les déjections et la viande ont un impact négatif sur l'environnement et la santé

humaine. Des approches alternatives sont donc nécessaires. Une étude des métabolites et des stéroïdes salivaires de truies a permis d'identifier 9 biomarqueurs potentiels de la réceptivité aux mâles. Les travaux se poursuivent pour simplifier les études d'analyses et développer leur usage.

*Animal*

[doi.org/10.1016/j.animal.2020.100095](https://doi.org/10.1016/j.animal.2020.100095)

### Caractérisation des facteurs de la résilience des exploitations bovines et ovines laitières biologiques françaises

Pendant une dizaine d'années, les élevages laitiers biologiques ont évolué dans un contexte propice, marqué notamment par des prix du lait stables et rémunérateurs. Ces élevages doivent aujourd'hui faire face à un ensemble de perturbations : épisodes climatiques extrêmes de plus en plus fréquents et générateurs d'impacts, dérégulations du marché, augmentation du prix des intrants, etc. Ce contexte pose la question de leur capacité à faire face à ces perturbations. Une série de dispositifs ont permis de croiser analyses qualitatives et quantitatives de cette résilience, en adoptant une approche

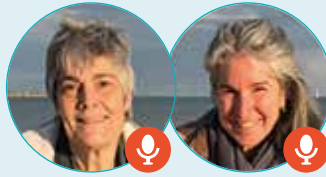
### BRÈVE

#### Création d'une unité mixte technologique (UMT) consacrée à la conception « d'innovations pour des systèmes agricoles et alimentaires agroécologiques en milieu tropical »

L'unité ISATI a été créée au 1<sup>er</sup> janvier 2022 dans le cadre de l'appel à projet 2021 du ministère de l'Agriculture. Elle est portée par INRAE (centre Antilles-Guyane), les instituts techniques IT2 (végétal) et ITEL (animal). Ses objectifs sont la coconstruction et l'évaluation d'innovations à la fois biotechniques (alimentation à partir de ressources locales, bio-intrants, gestion circulaire des biomasses, sélection participative) et organisationnelles (création d'une chaîne de valeur équitable de l'agriculteur au consommateur, appui aux politiques publiques). Les modalités de travail sont celles d'un Living lab impliquant les acteurs locaux pour converger vers une transition conjointe des systèmes agricoles et alimentaires permettant la souveraineté alimentaire et la résilience vis-à-vis des chocs climatiques, sanitaires et économiques.



Porcelets.  
©INRAE - G. Vasseur Delaitre



## Penser l'élevage de demain

ENTRETIEN AVEC

Frédérique Pitel

UMR GenPhySE

Tatiana Zerjal

UMR GABI

### L'intitulé du projet GEroNIMO incite à s'interroger sur les enjeux actuels de l'élevage, quels sont-ils ?

La croissance de la population humaine, l'amélioration des conditions économiques dans les pays en développement et l'évolution des préférences des consommateurs sont autant de facteurs qui contribuent à l'augmentation de la demande de produits animaux. La sélection génétique a été extrêmement puissante, permettant notamment une augmentation considérable du taux de croissance et de l'efficacité alimentaire des animaux. Mais cette stratégie, largement axée sur la production, montre ses limites, car elle est confrontée à des préoccupations croissantes en matière d'environnement, de bien-être animal et d'évolution des valeurs socioculturelles. Un renouvellement des systèmes de production est désormais nécessaire pour garantir une meilleure efficacité de la production, tout en favorisant la santé et le bien-être des animaux et une utilisation durable des ressources.

### Votre projet vise-t-il de nouvelles avancées au service de la sélection génétique ?

Jusqu'à présent la sélection s'appuie sur des modèles intégrant des variations de l'ADN. Mais la relation entre le génome et l'expression des caractères (phénotype) est plus complexe. Des mécanismes épigénétiques influencent également la variation phénotypique, contribuant aux réponses adaptatives rapides aux changements environnementaux. Les futurs modèles devraient représenter cette complexité. Outre son importance potentielle dans les modèles génétiques, la question

académique - voire philosophique - de la transmission des effets de l'environnement entre générations via des mécanismes épigénétiques a motivé la naissance de GEroNIMO.

### Les besoins sont nombreux dans plusieurs filières animales. Quels sont les caractères et les filières priorités ?

Porcs et volailles sont les deux principales sources animales de protéines pour l'alimentation humaine dans le monde. Pour ces deux filières les différences d'environnement entre la population en sélection et la population de production, souvent importantes, peuvent entraîner des pertes de performances. Etudier la variabilité épigénétique à grande échelle, notamment dans différents environnements, devrait contribuer à produire des animaux commerciaux mieux adaptés aux environnements de production locaux. Tout en garantissant une production élevée, l'élevage doit se tourner vers d'autres systèmes, plus vertueux, favorisant une utilisation raisonnée des ressources, impactant moins l'environnement, préservant la santé et le bien-être des animaux et la diversité génétique.

### Quels sont les acteurs que vous avez réunis pour la réussite du projet ?

Avant tout, la réussite du projet repose sur une équipe soudée. Nous avons imaginé ce programme collectivement, avec Sandrine Lagarrigue de l'Institut Agro, et nous le coordonnons ensemble. Nous avons dès le départ adopté la stratégie multi-acteurs en organisant des discussions transdisciplinaires intégrant en particulier des acteurs de terrain des productions porcine et avicole, avec des sélectionneurs

“

Un renouvellement des systèmes de production est désormais nécessaire pour garantir une meilleure efficacité de la production, tout en favorisant la santé et le bien-être des animaux et une utilisation durable des ressources.

”

privés et des associations et syndicats regroupant les acteurs majeurs de ces filières. Nous avons défini avec eux et nos collaborateurs publics néerlandais et suédois - le noyau académique de GEroNIMO - les grands enjeux auxquels nous souhaitons répondre. Nous avons ensuite élargi le consortium en intégrant des partenaires d'autres pays européens et d'autres disciplines, en particulier des sciences humaines et sociales.



Pour en savoir plus  
[www.geronimo-h2020.eu](http://www.geronimo-h2020.eu)

globale et interdisciplinaire. Plusieurs facteurs de résilience ont été mis en évidence, parmi lesquels l'orientation vers des systèmes herbagers autonomes et économes, la cohérence dans la gestion des ressources naturelles et humaines (par ex. équilibre sol-troupeau, troupeau-main d'œuvre), l'insertion dans une filière bien structurée ou l'assurance de prix stables et rémunérateurs. L'originalité de ce travail réside dans l'importance accordée au point de vue des éleveurs, aux trajectoires des exploitations agricoles, et dans le lien explicite fait entre résilience et organisation du travail sur les exploitations.

*Ecology and Society*

[doi.org/10.5751/ES-12583-260313](https://doi.org/10.5751/ES-12583-260313)

*Agricultural System*

[doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103082](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103082)

### Une production écoresponsable d'aliments efficaces pour les porcs : c'est possible !

Les aliments peuvent contribuer aux impacts négatifs de l'élevage porcin sur l'environnement, selon l'origine géographique et le mode de production de leurs ingrédients. A la suite de travaux conduits dans les années

80-90 à INRAE sur l'alimentation des porcs, les rejets d'azote et de phosphore avaient été réduits. Il est cependant nécessaire d'aller plus loin dans la réduction des impacts négatifs. Les chercheurs ont pu identifier et tester de nouvelles formulations écoresponsables (analyse du cycle de vie des ingrédients, priorités aux productions locales). Les performances de croissance, d'efficacité alimentaire et les caractéristiques des carcasses (rendement carcasse, taux de muscle des pièces) des animaux n'ont pas été affectées par les différents régimes.

*Frontiers in Veterinary Sciences*

[doi.org/10.3389/fvets.2021.689012](https://doi.org/10.3389/fvets.2021.689012)

### Une méthode d'évaluation de l'impact des systèmes aquacoles sur l'environnement

L'aquaculture est en forte croissance à l'échelle mondiale et, de ce fait, pose des questions de durabilité sur les 3 piliers : environnemental, économique et social. La caractérisation de la durabilité des systèmes agricoles ou aquacoles demeure un enjeu à la fois méthodologique et pratique. Dans le cadre d'un projet européen, un outil d'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes de production aquacole a été construit. L'outil DEXiAqua repose sur un ensemble d'indicateurs provenant de cadres établis comme l'analyse du cycle de vie, l'analyse sociale du cycle de vie, et des indicateurs de performances techniques et économiques. L'application à une exploitation de saumons montre la capacité de l'outil à mettre en évidence les points forts et faibles de la durabilité d'un système aquacole.

*Sustainability*

[10.3390/su13147779](https://doi.org/10.3390/su13147779)



◀ Géniteurs d'hybrides de salmonidés.  
©INRAE - S. Kaushik

### FOCUS

#### LiPh@SAS : une infrastructure dédiée au phénotypage des animaux d'élevage

Dans un contexte d'adaptation de l'élevage aux changements globaux et de demande sociale en matière de bien-être animal, cette infrastructure permet la collecte de données et d'échantillons dans le cadre de recherches qui visent à favoriser la transition vers des systèmes d'élevage plus durables, fondés sur les principes de l'agroécologie et respectueux du bien-être animal.

L'infrastructure est constituée de 10 entités expérimentales hébergeant des animaux (bovins, petits ruminants, porcins, poissons). La nature des expérimentations va de l'exploration fonctionnelle fine des fonctions biologiques sur de petits effectifs (phénotypage vertical) jusqu'à des mesures non invasives sur des effectifs importants (phénotypage horizontal).

LiPh@SAS permet de travailler avec des animaux dont les statuts sanitaire, génétique et physiologique sont caractérisés avec une grande précision. Ils sont issus de populations commerciales ou bien de lignées originales permettant l'étude de fonctions biologiques particulières. Les mesures sont réalisées dans différentes conditions d'élevage, afin de prendre en compte la coadaptation entre les animaux et leur environnement. Les protocoles sont conçus et se déroulent dans le plus strict respect du bien-être animal et de la réglementation sur l'expérimentation animale.

LiPh@SAS est reconnue comme un dispositif stratégique par le MESRI et entre sur la feuille de route nationale 2021 des Infrastructures de recherche.

 <https://www6.inrae.fr/liph4sas>



## Construction des qualités des régimes alimentaires



36

### Les substituts végétaux : quels effets sur la qualité nutritionnelle des régimes alimentaires des Français ?

Les substituts végétaux aux produits animaux sont en plein essor mais leur qualité nutritionnelle n'a été évaluée que de façon grossière et parcellaire. Dans une série d'études les chercheurs ont utilisé les données d'enquêtes sur les régimes alimentaires des Français pour étudier, par simulation, l'effet de l'usage de ces substituts sur l'adéquation nutritionnelle et le risque carenciel de ces régimes. Les résultats indiquent que les effets des substituts étaient très variables, selon leurs types (composition) et usages (nature des aliments substitués). Les substituts de viande à base de légumineuses conduisaient à une amélioration globale de l'adéquation nutritionnelle et n'entraînaient pas d'augmentation du risque carenciel. Les substituts végétaux de produits laitiers augmentaient le risque de carence en iode et parfois en calcium quand ils n'étaient pas enrichis. Les travaux se poursuivent pour caractériser les répercussions sur la santé à long terme de cette végétalisation de l'alimentation.

*The Journal of Nutrition*

[doi.org/10.1093/jn/nxab146](https://doi.org/10.1093/jn/nxab146)

*British Journal of Nutrition*

[doi.org/10.1017/S0007114521002130](https://doi.org/10.1017/S0007114521002130)

^  
Steaks végétaux.  
©Adobestock

### Un nouveau concept pour l'étude de la qualité nutritionnelle d'un aliment

Bien nourrir les personnes âgées est un véritable défi. Le développement de nouveaux aliments, bons sur le plan nutritionnel et adaptés aux capacités de cette population spécifique, est particulièrement complexe. Relever ce défi nécessite des études sur les mécanismes de transformation des aliments qui prennent en compte l'ensemble du processus digestif dans des conditions bien contrôlées. Les personnes âgées ont besoin d'aliments avec des textures spécifiques adaptées à leurs capacités orales et digestives. La nécessité de développer des produits alimentaires à la fois nutritifs et fonctionnels reste un objectif crucial. Pour répondre à cette question, les travaux développés à partir d'une émulsion riche en protéines ont porté sur l'ensemble des données depuis la phase orale, la physiologie digestive des personnes âgées jusqu'à la modélisation du devenir des protéines dans l'estomac. A l'issue de cette étude, les chercheurs proposent un nouveau concept de Food oral and digestive process (FODP) qui permet d'objectiver la biodisponibilité des nutriments à toutes les étapes de la digestion.

*Food & Function*

[doi.org/10.1039/D1FO00969A](https://doi.org/10.1039/D1FO00969A)



## Une alimentation saine et durable, accessible et valorisante pour tous

### La génétique au secours de la qualité organoleptique des graines de pois

Les légumineuses à graines comme le pois sont de plus en plus plébiscitées comme ingrédients pour la fabrication de produits alimentaires riches en protéines végétales. Cependant les farines ou fractions protéiques préparées à partir de graines de pois présentent un goût désagréable qui restreint leur utilisation. Ce goût déplaisant est dû à l'accumulation dans les graines de plusieurs composés indésirables, notamment des saponines, des triterpènes de glycosides qui peuvent conférer un goût amer. Dans une

approche qui cible l'exploitation de la variabilité génétique des graines, les chercheurs ont pu identifier une lignée présentant une teneur en saponine réduite de plus de 97 % sans que leurs qualités nutritionnelle (teneur en protéines) ou physiologique (capacité de germination) ne soient affectées. L'identification de ces lignées représente une première étape dans le développement de variétés de pois mieux adaptées au goût des consommateurs.

*Plant Cell Physiology*  
[doi.org/10.1093/pcp/pcab049](https://doi.org/10.1093/pcp/pcab049)



### BRÈVE

#### Réduire le gaspillage alimentaire

Une étude conduite par des chercheurs de l'université technique du Danemark et d'INRAE, à la demande du Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE), analyse les causes du gaspillage alimentaire chez le consommateur et les possibilités de le réduire.

La manière dont les technologies vertes (conservations biologique et biochimique, entreposage frigorifique à l'énergie solaire...) et numériques (applications mobiles ou la traçabilité des produits...) peuvent être utilisées pour réduire le gaspillage alimentaire font l'objet d'une présentation détaillée.

*UNEP DTU Partnership and United Nations Environment Programme (2021). Reducing Consumer Food Waste Using Green and Digital Technologies. Copenhagen and Nairo*  
ISBN 978-87-93458-06-2.



Accéder au rapport

[url.inrae.fr/3p6beEz](http://url.inrae.fr/3p6beEz)



Petit pois variété Ramrod.  
©INRAE - J. Weber

**La durabilité des filières de qualité évaluée à l'échelle européenne**

Dans le cadre du projet européen Strength2Food : Food quality for sustainability and health, des chercheurs en économie et en sociologie se sont penchés sur plusieurs types de filières de qualité (agriculture biologique et indications géographiques) et de circuits courts, combinant approches quantitatives et qualitatives. Ils concluent à une meilleure performance économique et sociale des filières alimentaires de qualité comparées à leurs alternatives conventionnelles, mais avec des performances environnementales proches. Les consommateurs reconnaissent nettement mieux les labels nationaux que leur version européenne ; et quand ils reconnaissent un label, ils déclarent s'en servir dans leur décision d'achat. En moyenne, les consommateurs reconnaissent également mieux le label « agriculture biologique » que les labels des indications géographiques.

L'analyse des discours révèle trois types de motivations à participer à des circuits courts, tant chez les producteurs que chez les consommateurs : la proximité, l'éthique sociale et environnementale, et l'intérêt éco-



nomique, notamment pour les producteurs. Une approche ethnographique de l'attitude des consommateurs face aux produits de qualité conclut à l'importance du prix comme critère de choix, à une faible importance des labels dans les discours et les pratiques alimentaires, et à la prépondérance de l'origine locale sur la certification dans les préoccupations des consommateurs.

Marché de légumes en vente directe.  
©INRAE - C. Maître

*Ecological Economics*  
[doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107244](https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2021.107244)  
[www.strength2food.eu/](http://www.strength2food.eu/)



**À LIRE**

**Coexistence et confrontation des modèles agricoles et alimentaires**

La coexistence et la confrontation des modèles agricoles et alimentaires constituent une thématique d'actualité dans le champ professionnel et politique, mais qui reste peu instruite par la recherche. Cet ouvrage, qui associe des chercheurs d'institutions françaises et étrangères, rassemblent des travaux conduits dans ce domaine.

Il propose une analyse des situations de coexistence et de confrontation de modèles agricoles et alimentaires fondée sur quatre dimensions majeures du développement territorial : la tension entre spécialisation et diversification, l'innovation, l'adaptation et la transition.

Il offre une grille d'analyse originale et 25 études de cas, en France et à l'étranger, pour étudier les conditions de gouvernance d'une pluralité de modèles dans les territoires et contribuer à renouveler la pensée sur le développement territorial.

*Editions Quae*  
ISBN 978-2-7592-3242-0





Orientation scientifique

---

# Une bioéconomie basée sur une utilisation sobre et circulaire des ressources



La diversification des bioressources et de leurs usages en cascade est nécessaire pour répondre de façon durable aux besoins alimentaires, à la production de matériaux, de molécules ou d'énergie. Pour y répondre, il est nécessaire d'approfondir l'exploration des structures du vivant en même temps que se développent de nouvelles approches pour la valorisation des coproduits végétaux et animaux ou pour améliorer les procédés de conversion des déchets en énergie. Les recherches des équipes INRAE portent également sur les conditions du développement d'une bioéconomie circulaire durable.



## Traitement et usages des biomasses, coproduits eaux usées et résidus organiques

### Explorer et exploiter la biodiversité fongique pour dégrader les polymères récalcitrants

Le règne fongique contient une diversité estimée entre 2,2 et 3,8 millions d'espèces associées dans certains cas à un extraordinaire potentiel biocatalytique de la biomasse. En particulier, les champignons filamenteux décomposeurs de tissus végétaux ont la capacité unique de dégrader efficacement la lignocellulose, un biopolymère notoirement récalcitrant à la biodégradation. Par une approche de phénotypage à grande échelle de souches fongiques, les chercheurs ont pu évaluer le potentiel de croissance et de

dégradation vis-à-vis de 5 composés industriels conçus par l'homme. Ils ont pu ainsi cartographier le potentiel biotechnologique de 1 000 souches appartenant à 78 familles différentes. Ce travail démontre la pertinence de ce type de criblage sans a priori pour exploiter la richesse de la biodiversité phénotypique répertoriée et préservée dans les centres de ressources biologiques et identifier les catalyseurs naturels les plus pertinents.

*Communication Biology*

[doi.org/10.1038/s42003-021-02401-w](https://doi.org/10.1038/s42003-021-02401-w)

*Industrial Crops and Products*

[doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113718](https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113718)



### FOCUS

#### Des équipements scientifiques aux meilleurs niveaux : deux infrastructures lauréates du programme national investissement d'avenir 3 EQUIPEX+

##### ALADIN - L'apprentissage actif pour accélérer le développement de biocatalyseurs pour la biotechnologie industrielle

Ce projet de plateforme multipartenaire (INRAE-INSA-CEA-CNRS), coordonné par INRAE, s'appuie sur la combinaison de la génétique et de l'intelligence artificielle. Il permettra l'exploration de la diversité moléculaire naturelle, son exploitation pour construire de nouveaux catalyseurs (enzymes et microorganismes) et le développement rapide de connaissances nécessaires pour mieux comprendre les systèmes biologiques. Cette plateforme nationale renforce le nœud français de l'infrastructure européenne Industrial Biotechnology Innovation and Synthetic Biology Acceleration-IBISBA ([www.ibisba.eu](http://www.ibisba.eu))

##### MetEx+ - La métabolomique et la fluxomique : de la population aux cellules uniques

Coordonné par INRAE, cet équipement s'appuie sur le savoir-faire et les partenaires de MetaboHUB ([www.metabohub.fr](http://www.metabohub.fr)). Il développe des outils pour assurer l'interopérabilité, la réutilisation et la standardisation des données pour les études de métabolomique à grande échelle, ainsi que pour la contextualisation biologique des données. Il vise à mieux comprendre la complexité du métabolisme au niveau de l'organisme en développant la fluxomique de tout l'organisme pour améliorer la compréhension globale de la dynamique réelle et de l'intégration biologique du métabolisme.

Ces deux équipements, ouverts à toutes les communautés scientifiques concernées et aux entreprises, favorisent les synergies entre les équipes et entre les disciplines mais également entre recherche publique et privée.

#### Méthanisation : la résonance magnétique nucléaire (RMN) couplée à la chimométrie, une méthode rapide et fiable pour évaluer le potentiel de production de gaz des biodéchets

Un des facteurs importants à prendre en compte pour la méthanisation est le taux de lipides des déchets organiques. En effet, une quantité de lipides importante permet de produire plus de gaz, mais une quantité trop importante peut aussi inhiber le procédé. Les déchets organiques sont souvent très hétérogènes et de différentes origines, c'est pourquoi ils ont besoin d'être caractérisés avant d'être valorisés. Les chercheurs ont mis au point une nouvelle méthode d'analyse se basant sur la RMN, une technique utilisant un champ magnétique et une radiofréquence pour caractériser la composition moléculaire des échantillons. Le procédé s'avère plus précis, plus rapide et moins polluant que la méthode actuelle pour mesurer le taux de lipides des biodéchets. Cette amélioration est bienvenue pour soutenir leur valorisation.

*Waste Management*

[doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.013](https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.013)

Compost.  
©Pixabay



## De la peau des fruits à la genèse de nouveaux matériaux élastomères

ENTRETIEN AVEC

**Bénédicte Bakan**

Unité de recherche Biopolymères interactions assemblages (BIA)

**Vous vous intéressez à la transformation des produits végétaux à visée alimentaire ou non alimentaire. Quel chemin vous a conduit à la peau des fruits ?**

Dans mes premiers travaux de recherche sur des champignons pathogènes des céréales puis sur la réduction d'apport d'eau dans le maltage de l'orge, il m'est apparu que la première barrière des plantes aux pathogènes comme à l'eau était la cuticule. Cette « peau des plantes » est une barrière hydrophobe qui recouvre tous les organes aériens des plantes et dont la structure (polymérique) était encore très mal connue. En particulier, la relation entre la structure de la cuticule et la transformation des produits végétaux (fractionnement, conservation post-récolte, etc.) était totalement ignorée. La cuticule du fruit de la tomate peut être facilement isolée et elle permet de coupler des méthodes génétiques pour modifier sa structure et des méthodes (bio)chimiques et physiques pour étudier sa structure et ses propriétés. Toutes ces compétences étaient réunies au sein d'INRAE pour réaliser des avancées importantes sur la structure et la construction de la cuticule. En particulier l'identification de la découverte de l'enzyme responsable de la polymérisation de la cutine (le composant majeur de la cuticule) et l'identification des structures particulières de polysaccharides associés à ce polymère lipidique. Au fil de nos travaux la cuticule apparaissait comme un composite naturel original dont on pouvait s'inspirer pour créer des matériaux originaux.

**Le développement de procédés originaux de bioraffinerie a-t-il été nécessaire pour mieux la valoriser ?**

Oui, c'est même un des intérêts de bien connaître la structure de la matière première végétale. Dans un premier temps, nous nous sommes focalisés sur la production de monomères de cutine (des acides gras hydroxylés) à partir des peaux par un procédé de saponification (beaucoup plus efficace que ceux utilisés jusqu'à maintenant). Ce procédé est en cours de développement industriel dans le cadre d'un projet financé par l'ADEME et est transféré à la valorisation des drêches et marcs de pommes, en développant une covalorisation (pectines, cires, monomères de cutine). Ces procédés de bioraffinerie ont permis de produire des acides gras hydroxylés originaux, présents uniquement dans la cuticule des végétaux. Ces monomères peuvent être valorisés comme stimulateurs de défense des plantes et ou comme synthons au laboratoire pour générer de nouveaux matériaux. Les espèces végétales présentant une composition différente en monomères de cutine nous permettront de diversifier nos utilisations et formulations.

**Quelles sont les prochaines étapes pour la genèse de nouveaux matériaux et leurs applications industrielles ?**

Je tiens à souligner que ce travail est vraiment une construction interdisciplinaire qui inclut biochimiste des végétaux, polymériste et spécialiste des matériaux... Toutes ces compétences sont disponibles dans le laboratoire, ce qui constitue un atout majeur pour le

“

En imitant la nature, nous avons reproduit des polyesters proches de la cutine végétale.

”

projet. En imitant la nature, nous avons reproduit des polyesters proches de la cutine végétale par polycondensation, sans catalyseurs et recyclables. L'ajout de glycérol, un coproduit de l'huilerie, pour former un copolyester d'acides gras hydroxylés et de glycérol nous a permis d'obtenir des élastomères dont les propriétés mécaniques et de surface peuvent être modifiées à façon par la formulation ou par le procédé. Dans cette même dynamique, d'autres matériaux ont été générés et sont en cours de publication. Aujourd'hui nous collaborons avec des entreprises et centres techniques pour mieux cibler les applications de nos recherches.

**Frontiers in Plant Science**  
doi.org/10.3389/fpls.2021.782773  
**Brevet WO2020109729 (A1)**  
**Industrial Crops and Products**  
doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113718



## Produits biosourcés : de nouvelles relations marchandes et dynamiques sociales



Station INRAE de  
Mirrecourt, Centre  
Grand Est-Nancy.  
©INRAE - E. Gaujour

### Comprendre les liens entre économie circulaire, agriculture et territoire(s)

Face aux enjeux climatiques croissants, l'économie circulaire peut fournir des solutions pour réduire au maximum l'usage de ressources non renouvelables. Les chercheurs ont proposé un panorama de travaux sur les modalités de construction des circularités à l'échelle locale en impliquant le secteur agricole. Plus précisément, ces travaux portent sur la manière dont les territoires, avec les ressources qui s'y trouvent, les acteurs qui les composent et leur contexte institution-

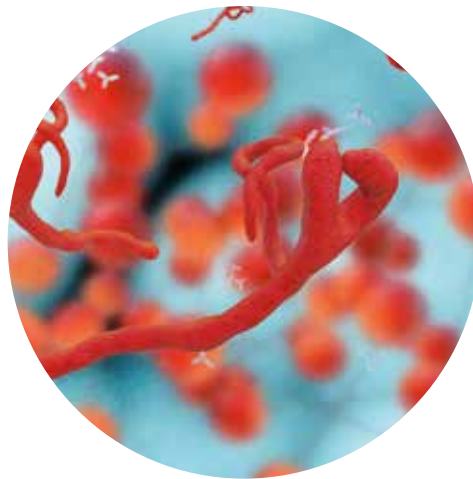
nel, influencent le développement de cette économie circulaire et, réciproquement, quels sont les effets de la construction des circularités sur les territoires. Ces travaux sont rassemblés dans un numéro spécial de la revue.

*European Planning Studies*  
[doi.org/10.1080/09654313.2021.1973174](https://doi.org/10.1080/09654313.2021.1973174)

Orientation scientifique

---

# Favoriser une approche globale de la santé

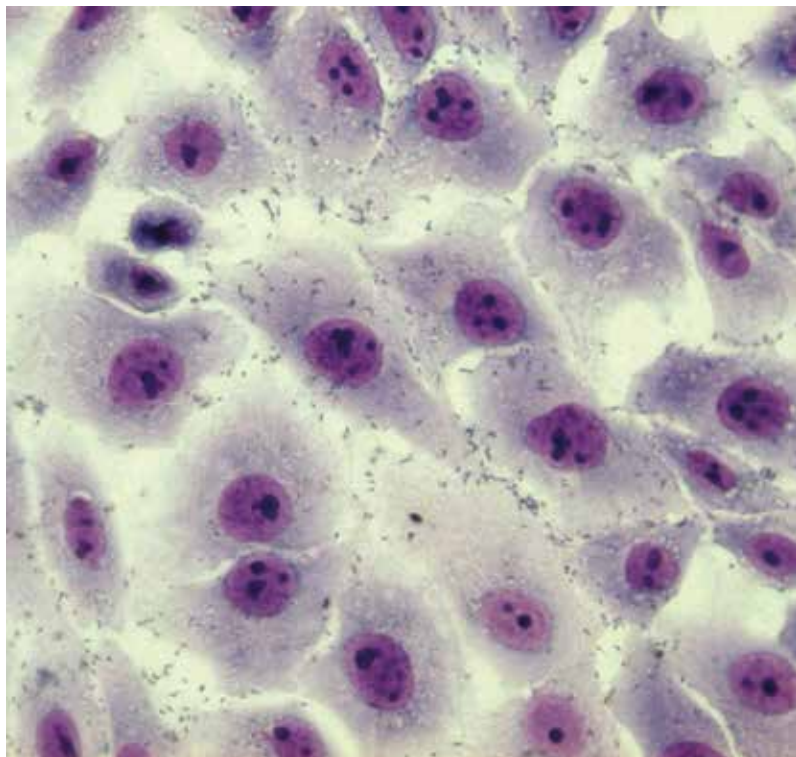


De nombreux risques pèsent sur la santé des végétaux, des animaux et des humains et sur l'environnement en lien avec le réchauffement climatique et les différentes activités humaines. Les conditions d'émergence des agents pathogènes, l'exposition à des substances chimiques dans l'environnement ou l'alimentation, l'impact des régimes alimentaires sur la santé sont autant d'enjeux explorés dans les recherches menées à INRAE.

En particulier, la compréhension des relations entre alimentation, environnement et santé reste déterminante pour favoriser l'évolution des systèmes alimentaires et la protection de l'environnement.



## Emergences et réémergences des maladies transmissibles au sein et entre les systèmes environnementaux, agricoles et alimentaires



### Améliorer la cartographie du risque d'émergence des cas humains du virus Ebola

Beaucoup de questions restent en suspens quant aux conditions qui favorisent l'émergence, la transmission et la propagation de ce filovirus. Dans ces circonstances, et avec le peu de données épidémiologiques à disposition, il est difficile de prévoir les zones les plus à risque d'émergence future d'Ebola. Par une approche d'évaluation multicritère spatialisée, des chercheurs ont pu associer différentes catégories de données – climatiques, environnementales, anthropogéniques ou encore de répartition des espèces animales potentiellement impliquées dans la transmission du virus. Cette approche a



Lignée entérocytaire infectée par *Listeria monocytogenes*.  
©INRAE - P. Velge

permis de cartographier de façon beaucoup plus précise le risque d'émergence d'Ebola dans différentes régions d'Afrique.

[PLOS Neglected tropical diseases  
doi.org/10.1371/journal.pntd.0009683](https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0009683)

### Comment mieux combattre l'antibiorésistance en Afrique

D'après les données internationales, l'usage d'antibiotiques chez les animaux d'élevage semble très limité en Afrique. Cependant, la prévalence de la résistance aux antibiotiques chez les agents pathogènes d'origine

alimentaire isolés à partir d'animaux et de produits d'origine animale y est importante. Cette observation reflèterait une utilisation non maîtrisée des antibiotiques. Les auteurs de cette étude recommandent l'élaboration de politiques qui tiennent compte des défis spécifiques à l'élevage en Afrique que sont les petites exploitations familiales et commerciales. Ces politiques doivent répondre au double défi d'améliorer simultanément l'accès aux médicaments vétérinaires tout en renforçant la réglementation de leur utilisation.

[Emerging Infectious Diseases  
doi.org/10.3201/eid2710.210076](https://doi.org/10.3201/eid2710.210076)

### Des avancées dans la compréhension de la virulence de la bactérie alimentaire responsable de la listériose

La listériose est une maladie d'origine alimentaire qui peut avoir des conséquences graves chez les personnes immunodéprimées ou âgées, ou les femmes enceintes, en provoquant par exemple des méningites ou des fausses couches. Les épidémies les plus graves de listériose humaine sont associées à certaines souches particulièrement virulentes de la bactérie *Listeria monocytogenes*. Les chercheurs ont identifié que ces souches, en fragilisant la membrane de certaines espèces bactériennes avec lesquelles elles entrent en contact, sont capables de moduler la composition du microbiote intestinal et ainsi de moins subir la compétition des autres bactéries. Elles parviennent donc à mieux infecter l'intestin, puis des organes profonds comme le foie ou la rate et enfin le cerveau ou le placenta.

[The Proceedings of the National Academy of Sciences  
doi.org/10.1073/pnas.2108155118](https://doi.org/10.1073/pnas.2108155118)

**Les virus de bactéries, des alliés contre l'antibiorésistance**

De plus en plus de bactéries résistent aux antibiotiques. L'explication la plus courante est celle d'un usage massif et inapproprié des antibiotiques. Une autre hypothèse est évoquée depuis quelques années. Elle repose sur le rôle des virus des bactéries – les bactériophages – dans la transmission de gènes de résistance aux antibiotiques. Cette hypothèse, controversée, a interpellé une équipe de chercheurs d'INRAE spécialistes des bactériophages. Ils ont ainsi mené des travaux de métagénomique (analyse de l'intégralité des gènes) sur des bactériophages provenant de 14 fermes porcines. Les bactériophages étudiés ne possèdent pas un seul gène de résistance aux antibiotiques. Les bactériophages conservent donc leur statut d'alliés dans la lutte contre les bactéries résistantes aux antibiotiques, via la phagothérapie.

*ISME Communications*  
[doi.org/10.1038/s43705-021-00054-8](https://doi.org/10.1038/s43705-021-00054-8)

**Le microbiote des tiques impliqué dans le portage et la transmission d'agents pathogènes**

En Europe, les tiques représentent les premiers vecteurs d'agents pathogènes pour les humains et les animaux. Outre les agents pathogènes, les tiques sont également porteuses d'autres microorganismes qui forment leur microbiote. A l'aide d'une approche de séquençage haut débit, les chercheurs ont analysé la composition du microbiote de 557 tiques et ont identifié à l'aide d'analyses statistiques spécifiques les interactions entre les composants du microbiote et les agents pathogènes. Les résultats indiquent que la structure et la composition du microbiote des tiques évoluent au cours du temps. Ils mettent aussi en évidence que plusieurs membres du microbiote des tiques favorisent ou empêchent la présence d'agents pathogènes au sein des tiques. Ces travaux ouvrent ainsi de nouvelles perspectives pour le développement de stratégies

de contrôle et de lutte biologique contre les tiques.

*Microbiome*  
[doi.org/10.1186/s40168-021-01051-8](https://doi.org/10.1186/s40168-021-01051-8)

**Identification des voies d'entrée du SARS-CoV-2 dans les cellules, vers de nouvelles stratégies thérapeutiques**

Pour développer des traitements limitant la propagation du SARS-CoV-2, virus à l'origine de la pandémie de Covid-19, l'idéal est de cibler les premiers stades de l'infection, avant que le virus ne pénètre dans les cellules. En s'inspirant des études faites sur le MERS-CoV, un autre coronavirus identifié en 2012 et causant le syndrome respiratoire du Moyen-Orient, l'équipe de recherche a étudié l'infection du SARS-CoV-2 sur différents



**BRÈVE**

**Le Centre national de la propriété forestière (CNPF) s'engage au côté d'INRAE autour du programme CiTIQUE**

Les agents du CNPF, professionnels forestiers de terrain, sont régulièrement exposés au risque de piqûres par les tiques. Le partenariat établi doit permettre de constituer une source importante de données, utiles aux chercheurs d'INRAE et aux autres laboratoires de recherche partenaires du programme de recherche participatif CiTIQUE, pour approfondir leur connaissance de l'écologie des tiques et pour élaborer des modèles de risque. Cette collaboration consolidera la politique de prévention mise en place par le CNPF pour ses agents exposés au risque de maladies vectorielles à tiques.

◀  
 Tiques de taille adulte conservées en suspension dans un tube de gel dans le laboratoire du projet CiTIQUE.  
 ©INRAE - B. Nicolas



types de cellules pour identifier la ou les voies d'entrée du virus. Durant les analyses, il est apparu que certaines cellules étaient infectées très rapidement, en moins de 10 minutes, tandis que l'infection des autres cellules prenait environ 50 minutes. Cette différence est en lien avec la présence d'une protéase spécifique à la surface des cellules pour la voie rapide. Lorsqu'elle est absente, le virus utilise la voie endolysosomale (pénétration via de petites vésicules). Ces résultats ouvrent de nouvelles perspectives pour développer des stratégies thérapeutiques qui cibleraient ces deux voies d'entrée du SARS-CoV-2.

EMBO Journal

[doi.org/10.15252/embo.2021107821](https://doi.org/10.15252/embo.2021107821)

### Développement de modèles alternatifs à l'expérimentation animale

Dans le contexte des maladies infectieuses, il existe un besoin urgent de modèles pertinents pour mieux prédire la pathogénicité des pathogènes animaux (ré)émergents (virus, bactéries, parasites ou combinaisons de ceux-ci) susceptibles de passer d'une espèce à une autre, notamment à l'homme (zoonose) et pour cribler de nouvelles approches thérapeutiques. Par ailleurs, d'un point de vue éthique et sociétal, le développement de méthodes alternatives à l'expérimentation animale est aujourd'hui une nécessité. Le développement récent de nouveaux modèles *in vitro* en 3 dimensions ou « organoïdes » peut pallier le manque actuel de modèles pulmonaires *in vitro* pertinents et efficaces, en tirant parti de la plasticité des cellules souches embryonnaires ou adultes. Ces modèles miment des fonctions du tissu respiratoire et permettent d'examiner la réponse d'un tissu complexe reconstitué en 3D à un changement physiologique (stress, infection).

Veterinary Research

[doi.org/10.1186/s13567-021-00946-6](https://doi.org/10.1186/s13567-021-00946-6)



### FOCUS

#### Un vaccin administrable par voie nasale contre le Covid-19

En 2020, l'équipe BioMAP de l'UMR INRAE-université de Tours Infectiologie et santé publique (ISP), membre de l'Institut Carnot France Futur Elevage, s'est engagée dans la mise au point d'un vaccin nasal contre le virus SARS-CoV-2. Les vaccins à administration par voie nasale seraient capables d'éviter la présence de virus dans le nez, stade initial de l'infection : ils induisent une immunité au niveau des muqueuses nasales, porte d'entrée et lieu de multiplication du virus, ce que ne permettent pas les vaccins administrés par voie intra-musculaire.

Ce candidat vaccin protéique anti-SARS-CoV-2 s'appuie sur l'expertise de l'équipe BioMAP dans la conception de vaccins muqueux. En effet, en partenariat avec la biotech Vaxinano, l'équipe a déjà réussi à développer un candidat vaccin efficace pour protéger les singes de la toxoplasmose. Le vaccin, constitué de la protéine Spike et de protéines virales non soumises à

mutation, garantirait mieux la stabilité de la protection, quelles que soient les mutations virales et la souche de coronavirus circulante.

Les tests précliniques menés en laboratoire avaient démontré l'efficacité du vaccin candidat après 2 immunisations par voie nasale espacées de 3 semaines, tant concernant la réponse immunitaire que la neutralisation précoce du virus original.

Pour accélérer le développement du projet de vaccin, la start-up LoValTech, labellisée Deeptech par BPI France, vient d'être créée. Elle a pour objectif de piloter le projet des phases de développement de la formulation vaccinale jusqu'aux essais chez l'homme.

Le projet est soutenu par l'ANRS/Maladies infectieuses, l'ANR, le centre Val de Loire et plusieurs partenaires industriels.



En savoir plus

[url.inrae.fr/33xA1L2](https://url.inrae.fr/33xA1L2)



## Pollutions, contaminants et exposome

### Exposition aux pesticides dans les régimes végétariens

Les régimes végétariens suscitent un intérêt croissant. Pourtant, si les profils nutritionnels des individus ayant de forts apports en produits végétaux sont bien caractérisés, l'exposition aux résidus de pesticides est moins étudiée. Par ailleurs, la consommation de produits végétaux est associée positivement à celle de produits issus de l'agriculture biologique. Les niveaux d'exposition à 25 pesticides naturels et de synthèse via les aliments d'origine végétale chez des personnes omnivores, pescovégétariennes, végétariennes et végétaliennes de l'étude NutriNet-Santé ont été examinés en prenant en compte la valence bio de l'alimentation. De manière générale, les individus suivant des régimes végétariens étaient la plupart du temps moins exposés que ceux des autres groupes. Les aliments produits selon les pratiques conventionnelles représentaient la majeure partie de l'exposition pour les différents pesticides, à l'exception des

3 pesticides autorisés en agriculture biologique. La forte consommation d'aliments biologiques pourrait donc être considérée comme un levier pour réduire l'exposition aux pesticides de synthèse, en particulier chez des individus suivant des régimes végétariens.

*Food and Chemical Toxicology*

[doi.org/10.1016/j.fct.2021.112179](https://doi.org/10.1016/j.fct.2021.112179)

### La surveillance de la pollution aquatique s'appuie sur des espèces sentinelles adaptées au risque étudié

De nombreux polluants présents dans l'eau s'avèrent être des perturbateurs endocriniens. Ils peuvent modifier l'équilibre de la composition des lipides dans les cellules chez les espèces aquatiques comme le gammarus (*Gammarus fossarum*), une famille de crustacés considérée comme un bon bio-indicateur de la qualité de l'eau. Une caractérisation exhaustive de l'ensemble des lipides ainsi que de leur distribution spatiale

a été réalisée chez cette espèce pour comprendre les mécanismes de toxicité induits par les polluants. Elle a permis d'approfondir la compréhension des changements biochimiques au cours du développement chez *Gammarus fossarum*. Ces résultats serviront de référence pour de futures études écotoxicologiques.

*iScience*

[doi.org/10.1016/j.isci.2021.102115](https://doi.org/10.1016/j.isci.2021.102115)

### Evaluation du potentiel de transfert des pesticides vers l'atmosphère

Le suivi de la contamination de l'air par les pesticides fait l'objet de campagnes plus ou moins ponctuelles et locales mais les connaissances sont encore insuffisantes pour identifier la voie de transfert majoritaire vers l'atmosphère. Lors du traitement des cultures, une partie des pesticides appliqués peut atteindre l'atmosphère par dérive en sortie du pulvérisateur, volatilisation post-application à partir du sol et/ou des



plantes et érosion éolienne. La volatilisation post-application représenterait jusqu'à quelques dizaines de pourcent de la dose initiale pour certains composés. Les chercheurs se sont appuyés sur les propriétés moléculaires des pesticides pour explorer le potentiel de volatilisation de 178 d'entre eux. Cette étude a permis de discriminer les pesticides qui étaient observés dans l'air de ceux qui ne l'étaient pas. Une telle approche peut être utilisée pour réaliser une première estimation du risque de contamination de l'air par les pesticides et ainsi contribuer à protéger l'environnement et la santé humaine.

*Journal of Hazardous Materials*  
doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125613



### BRÈVE

#### Création d'un laboratoire partenarial associé (LPA) autour du développement de dispositifs innovants dédiés à la surveillance de la qualité des eaux

INRAE et la société ViewPoint ont lancé le Laboratoire partenarial associé (LPA) centré sur la surveillance des rejets toxiques dans l'eau. Dénommé ViewTox, ce LPA va permettre pendant 4 ans d'amplifier les travaux engagés entre INRAE et la société ViewPoint autour d'un dispositif innovant d'analyse vidéo du comportement d'invertébrés aquatiques sensibles à une diversité de substances chimiques rejetées dans l'environnement.



## Une nutrition préventive pour la santé publique et environnementale

### Un biomarqueur sanguin pour évaluer le risque de malvoyance causée par la DMLA

La dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) est la principale cause de malvoyance dans les pays occidentaux, avec près de 20 millions de personnes affectées en Europe en 2020. Les traitements permettent uniquement de ralentir la progression de la pathologie et seulement pour certaines formes. Parmi les facteurs de risque se trouve le déficit en acides gras oméga-3. Une insuffisance en ces acides gras dans la rétine était jusqu'alors impossible à mesurer. Grâce à l'analyse des rétines et du sang issus de 46 donneurs humains, les scientifiques ont pu identifier un biomarqueur sanguin du statut en acides gras oméga-3 de la rétine. Grâce à ce biomarqueur, les

personnes à risque pourront ainsi être accompagnées sur le plan nutritionnel.

*Clinical and Translational Medicine*  
doi.org/10.1002/ctm2.404

Gros plan d'un œil.  
©Pixabay





## L'impact de la nutrition maternelle sur le comportement alimentaire de la descendance

ENTRETIEN AVEC

Patricia Parnet

Unité Physiopathologie des adaptations nutritionnelles (PhAN)

**L'unité PhAN s'intéresse à l'impact de la nutrition maternelle au tout début de la vie (foetale et néonatale).**

**Quelles ont été les questions au cœur de vos travaux ces dernières années ?**

L'activité de recherche de l'UMR PhAN s'inscrit dans le concept de « l'origine développementale de la santé et de la maladie (DOHAD) ». Ce concept a été développé dans les années 1980 par un épidémiologiste anglais, David Barker, qui, à travers des cohortes rétrospectives, a démontré que les individus naissant avec un petit poids de naissance avaient plus de risque d'avoir une maladie chronique à l'âge adulte, risque d'autant plus important que leur croissance postnatale était rapide. L'hypothèse avancée est que la malnutrition maternelle (avec pour conséquence une malnutrition foetale) aux périodes clés du développement intra-utérin entraînerait une adaptation métabolique nécessaire du fœtus mais

causerait des maladies chroniques à l'âge adulte. A la suite de nombreux travaux de recherche, on parle communément de la période critique des 1000 jours, qui va de la conception aux 2 ans de l'enfant.

Pour ma part, je me suis plus particulièrement intéressée dans un premier temps aux conséquences de cette sous-nutrition sur les processus qui sous-tendent le comportement alimentaire de l'enfant. Nous avons pu montrer que chez les rongeurs la nutrition prénatale altérée, suivie d'une augmentation de la croissance postnatale, provoque une prise alimentaire excessive chez les descendants qui prédispose au développement de l'obésité.

**Quelles sont les hypothèses qui guident vos travaux actuels ?**

Une partie de l'unité étudie également les effets de la malnutrition périnatale sur le fonctionnement de l'axe intestin-cerveau avec l'hypothèse que le microbiote intestinal maternel peut être un déterminant précoce de la santé du nouveau-né. En collaboration avec nos collègues de l'UMR Micalis et de MetaGenoPolis, nous avons utilisé, sur un modèle rongeur, des approches de transfert vertical du microbiote (microbiote intestinal, vaginal ou du lait) de mères génétiquement prédisposées ou non à l'obésité et nourries avec un régime hyperénergétique, chez des rats nouveau-nés d'une autre souche. Conformément à notre postulat, le transfert de ces microbiotes modifiait durablement les caractéristiques de leur comportement alimentaire, avec un risque plus élevé de surconsommation de lait ou d'aliments aux différentes périodes de leur vie pour ceux ayant

reçu les inocula de rattes obèses. Ce projet a permis d'identifier le microbiote maternel en tant que canal de communication/transmission entre la mère et sa descendance, et d'identifier des biomarqueurs potentiellement prédictifs d'une altération du comportement alimentaire. Il nous faut encore comprendre comment le microbiote affecte le comportement alimentaire de la descendance en caractérisant son impact sur le neurodéveloppement des structures cérébrales.

**Avez-vous identifié d'autres questions à explorer en lien avec l'alimentation de la mère ?**

Il serait intéressant par exemple de travailler sur l'impact des nouveaux régimes (végétarien, vegan...) sur les apports nutritionnels maternels pendant la grossesse et l'allaitement : sont-ils tous adéquats pour une bonne croissance *in utero* et postnatale et un bon développement psychocognitif ?

Je tiens à préciser que dans toutes les études mentionnées ici l'approche interdisciplinaire est primordiale, car si les premiers résultats étaient issus d'études épidémiologiques, de nombreuses hypothèses restent à confirmer sur le plan biologique. Il est également indispensable d'étudier l'individu dans sa globalité et de prendre également en compte la relation psychique mère-enfant qui peut être altérée par la situation économique, sociale et la santé de la mère.

**Frontiers in Microbiology (2021)**  
doi.org/10.3389/fmicb.2021.672224  
**Hal**  
inrae.fr/hal-03271317

“  
Ce projet a permis d'identifier le microbiote maternel en tant que canal de communication/transmission entre la mère et sa descendance.

”

**Découverte d'une signature biologique pour guider le diagnostic du syndrome métabolique**

Ce syndrome, caractérisé par une association de plusieurs anomalies, touche en France 20% de la population, mais son hétérogénéité le rend difficile à identifier. C'est pourquoi il est capital de développer des outils pour en faciliter le diagnostic. En s'appuyant sur l'infrastructure nationale MetaboHUB, des équipes de scientifiques françaises et

canadiennes ont pu identifier une signature singulière de 26 métabolites suffisamment robustes pour un futur diagnostic. En complément, des liens ont été mis en évidence entre l'alimentation, le microbiote intestinal, la signature métabolique et le diagnostic du syndrome. Des travaux complémentaires établiront une procédure simplifiée pour intégrer cette approche en routine.

*eBioMedicine*  
doi.org/10.1016/j.ebiom.2021.103440



**BRÈVE**

**Un nouveau projet européen pour coordonner les recherches sur le microbiome humain**

Le projet européen Microbiome humain, lancé le 1<sup>er</sup> mai 2021 et coordonné par INRAE, réunit 17 partenaires de 9 pays qui travaillent ensemble pour aligner, structurer et stimuler la recherche et le transfert de connaissances dans le domaine du microbiome. Le projet abordera toutes les étapes nécessaires pour ouvrir des perspectives de gestion de la nutrition et de la santé de l'humain microbien.

 [humanmicrobiomeaction.eu](https://humanmicrobiomeaction.eu)

Alimentation saine (illustration).  
©Adobestock



**FOCUS**

**CALIS, une infrastructure de recherche pour répondre aux enjeux d'une alimentation saine, durable et accessible à tous**

L'alimentation est au cœur des préoccupations des politiques publiques, avec des enjeux économiques et de santé publique mais aussi environnementaux majeurs. Il est devenu crucial de fédérer les capacités technologiques de la communauté scientifique dans les domaines de la nutrition et de la diététique, de la science des aliments et de l'alimentation, en lien avec la santé. L'infrastructure CALIS proposée par INRAE et ses partenaires va permettre

de développer des approches intégrées et multi-échelles, de la conception de l'aliment jusqu'à l'évaluation de ses impacts de santé, en passant par l'analyse des conditions d'adoption par les consommateurs et l'évaluation de ses impacts environnementaux.

Les 3 pôles constitutifs de CALIS, Consommateur, Alimentation, Santé, proposent aux utilisateurs publics et privés français une offre multidisciplinaire, originale et unique sur l'ensemble de la chaîne de valeur. CALIS rassemble 29 institutions françaises dont des organismes de recherche, une agence nationale, des

universités, des écoles d'ingénieurs et des centres hospitaliers. L'infrastructure est inscrite sur la feuille de route nationale 2021 des infrastructures du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

 [url.inrae.fr/3kc8iEm](https://url.inrae.fr/3kc8iEm)



Orientation scientifique

---

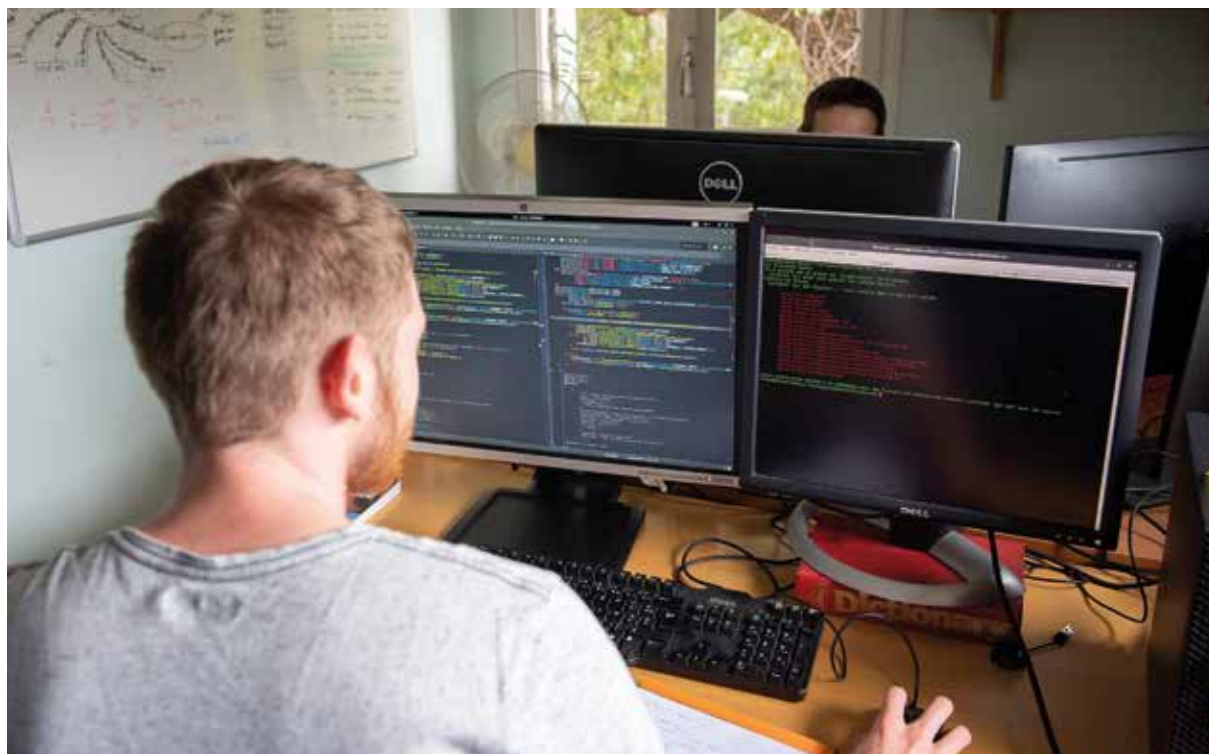
# Mobiliser les sciences de la donnée et les technologies du numérique au service des transitions



Les avancées scientifiques, technologiques et méthodologiques permises par le développement des sciences et technologies du numérique ouvrent de nouvelles voies pour explorer la complexité des systèmes biologiques et des écosystèmes à différentes échelles et prédire le comportement du vivant. L'articulation croissante des sciences expérimentales et de l'intelligence artificielle offre des opportunités d'applications nombreuses, au service par exemple du suivi de la santé des animaux ou dans l'optimisation des procédés de transformation alimentaire.



## Systèmes complexes et évolutifs



### Simuler l'ensemble des processus biologiques d'une cellule

Dans les approches de biologie prédictive, il est important de pouvoir disposer d'outils pour simuler de façon efficace l'ensemble des processus biologiques d'une cellule. Cette simulation des événements moléculaires est actuellement impossible du fait du temps de calcul nécessaire. En effet, la modélisation détaillée d'une cellule entière nécessite l'intégration de processus cellulaires hétérogènes ayant des formalismes de modélisation différents. Dans le cadre d'une collaboration entre INRAE et INRIA, les équipes ont développé le simulateur stochastique open source BiPSim qui permet de simuler efficacement certains processus cellulaires. Conçu pour être générique et donc aisément adaptable à différents types de cellules, BiPSim rend accessible à la communauté biologique la



Big data.  
Développement logiciel et systèmes d'information.  
Centre INRAE  
Occitanie-Montpellier.  
©INRAE - C. Maître

simulation stochastique de processus cellulaires et permet de confronter les simulations à des données omiques hétérogènes acquises en cellule unique.

[Scientific reports](#)  
[doi.org/10.1038/s41598-021-92833-5](https://doi.org/10.1038/s41598-021-92833-5)

### L'intelligence artificielle (IA) au service de la santé animale

Les recherches à l'interface entre santé animale et IA sont en plein essor. Elles permettent de s'engager sur de nouveaux fronts de science en santé animale, de lever des verrous méthodologiques et de mieux répondre aux défis de demain en agriculture. Les résultats déjà obtenus et les perspectives avancées par les chercheurs positionnés à cette interface montrent la diversité des domaines d'intérêt pour la santé animale. Ainsi, l'IA contribue au



## Une recherche interdisciplinaire au service d'une agriculture numérique responsable

ENTRETIEN AVEC

Isabelle Piot-Lepetit

Directrice scientifique #DigitAg

### Quelles ont été les principales motivations à la création de #DigitAg ?

L'Institut Convergences (IC) Agriculture Numérique #DigitAg a été créé fin 2016 pour animer et structurer le développement d'une agriculture numérique responsable en France et dans les pays du Sud, en soutenant des projets de recherche interdisciplinaires et des initiatives tournées vers l'enseignement supérieur et l'innovation. Après 5 ans d'existence, #DigitAg rassemble 738 membres dont 60 doctorants, accueille 548 étudiants dans sa graduate school et promeut l'innovation à travers sa vitrine numérique, l'organisation de hackathons, etc.

### Quel bilan tirez-vous de ces premières années d'activité ?

#DigitAg est construit autour de 3 communautés scientifiques : sciences de l'ingénieur, sciences du vivant et sciences humaines et sociales. Les recherches conduites à #DigitAg répondent à deux grands enjeux sociétaux : améliorer la production et une meilleure intégration sociale pour l'agriculture. #DigitAg soutient tout à la fois le développement de travaux répondant à l'excellence scientifique des communautés présentes dans l'IC et la mise en place de recherches en interdisciplinarité au sein de chacune de ces communautés et entre ces communautés. Les activités de #DigitAg sont portées par des appels à projets de thèses, postdoctorats ou stages de master, ainsi que des mobilités internationales, des événements scientifiques, des ateliers de travail, le développement de démonstrateurs... Depuis son lancement,

#DigitAg a soutenu financièrement 181 projets. De 2017 à 2020, le nombre de projets présentant une interdisciplinarité entre 2 ou 3 des disciplines de #DigitAg est passé de 60% à 92%, avec 70% des projets répondant à l'enjeu d'amélioration de la production et 30% à celui d'intégration sociale de l'agriculture. L'interdisciplinarité à #DigitAg n'est pas seulement portée dans les projets de recherche, elle est aussi vécue dans toutes les instances de gouvernance. Au fil du temps, #DigitAg a expérimenté une forte mobilisation de la communauté des sciences humaines et sociales sur la thématique de l'agriculture numérique, notamment autour de réflexions touchant à une recherche et innovation responsables qui répondent aux attentes de tous les acteurs.

#DigitAg a aussi bénéficié de ses collaborations aux Suds pour pousser sa réflexion sur la sobriété énergétique des solutions numériques proposées.

### Avez-vous identifié quelques évolutions nécessaires concernant les partenariats ou les thématiques ?

Le rayonnement de #DigitAg a conduit à intégrer de nouveaux chercheurs non membres des institutions et unités fondatrices de l'IC, en créant le statut de chercheur associé en 2019 et de chercheur partenaire en 2020. La mise en place du Living lab OccitANum (2020-2027) a permis l'inclusion des agriculteurs et de leurs partenaires dans le développement de solutions numériques testées en conditions réelles. #DigitAg participe à plusieurs projets Horizon Europe, ce qui renforce son positionnement au niveau européen. Concernant le secteur privé,

“

Au fil du temps, #DigitAg a expérimenté une forte mobilisation de la communauté des sciences humaines et sociales sur la thématique de l'agriculture numérique.

”

8 entreprises sont parmi les membres fondateurs de #DigitAg. Les acteurs privés ayant souhaité rejoindre l'IC après sa création sont membres de la chaire d'entreprises AgroTIC, à laquelle #DigitAg participe activement.

A plus long terme, #DigitAg ambitionne d'étendre ses recherches interdisciplinaires autour d'une agriculture numérique responsable à un niveau international et selon des modalités participatives, autour du développement de systèmes alimentaires durables. Ce projet holistique, regroupant les 3 domaines disciplinaires de #DigitAg, permettrait de collaborer avec des partenaires mobilisés sur cette thématique en Europe et à l'international et d'intégrer les acteurs privés pour renforcer la transdisciplinarité des recherches conduites.

Pour en savoir plus  
[www.hdigitag.fr/fr/](http://www.hdigitag.fr/fr/)



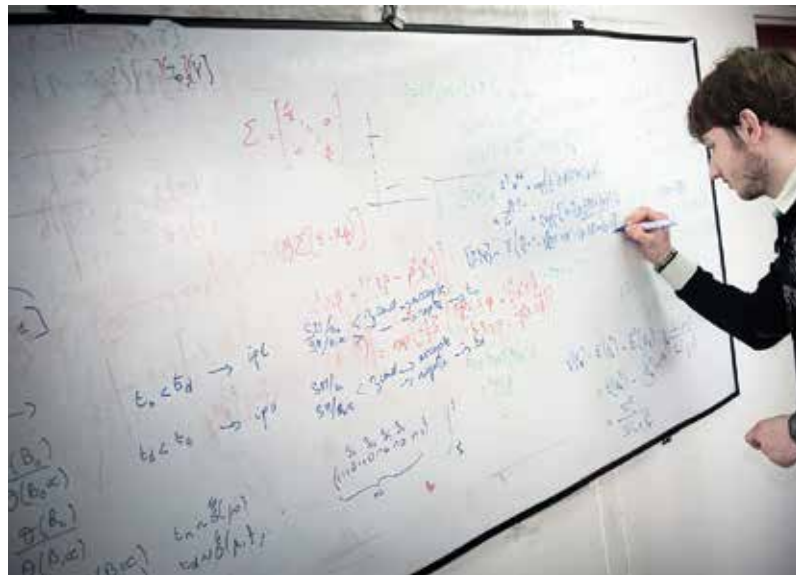
diagnostic et à la détection des maladies, à fiabiliser les prédictions et réduire les erreurs d'interprétation, à produire des représentations plus réalistes des systèmes biologiques, à accroître la lisibilité des codes informatiques pour leurs utilisateurs, à accélérer les décisions et améliorer la précision des analyses de risque, et enfin à mieux cibler les interventions et anticiper les possibles effets négatifs. Ce bilan a été réalisé dans le cadre d'une étude bibliométrique sur 110 publications internationales, ainsi qu'une enquête auprès des équipes concernées au sein d'INRAE, afin de dégager les progrès réalisés, mais aussi les verrous méthodologiques et les défis de demain. Une étude récente décrit une application concrète de l'IA au service de l'analyse des comportements des animaux d'élevage pour améliorer leur bien-être.

*Veterinary Research*  
[doi.org/10.1186/s13567-021-00902-4](https://doi.org/10.1186/s13567-021-00902-4)  
*Frontiers in Animal Sciences*  
[doi.org/10.3389/fanim.2021.784376](https://doi.org/10.3389/fanim.2021.784376)  
*Biosystems Engineering*  
[doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.014](https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.014)

**Optimiser les procédés de transformation alimentaire**

L'optimisation des procédés alimentaires est une tâche complexe, rendue difficile par le manque de connaissances sur les mécanismes qui limitent les procédés et par la complexité des modèles et des produits alimentaires eux-mêmes. Pour pallier ces difficultés, les chercheurs ont choisi une approche originale qui couple l'optimisation multiobjectifs et l'intégration des connaissances qui relèvent de deux champs thématiques différents de l'intelligence artificielle. L'optimisation de la microfiltration du lait écrémé, procédé utilisé pour séparer les deux grands types de protéines du lait, a été choisi pour illustrer la démarche. Les résultats obtenus ouvrent de nouvelles perspectives pour l'optimisation des procédés alimentaires pour lesquels les manques de connaissances scientifiques et de données constituent un frein à la modélisation des mécanismes impliqués en vue de leur amélioration.

*Food and Bioproducts Processing*  
[doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.020](https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.09.020)



**BRÈVE/PARTENARIAT**

**INRAE et SABI AGRI créent le laboratoire commun TIARA pour concevoir des agroéquipements robotiques de demain**

La robotique apparaît de plus en plus comme un levier permettant d'accompagner la transition écologique de l'agriculture, tout en réduisant la pénibilité des travaux. Le LabCom TIARA va jouer un rôle d'accélérateur pour toute la filière en proposant des engins dotés de niveaux d'autonomie adaptables et de capacités de décisions partagées, afin d'être en adéquation avec les attentes des agriculteurs. L'alliance des connaissances du terrain agricole et de la chaîne de traction des machines agricoles électriques de SABI AGRI, associées à l'expertise de l'équipe de recherche de la robotique agricole d'INRAE, constituent le socle du laboratoire commun

Tableau blanc de travail dans l'UMR Mathématiques et informatique appliquées qui regroupe des statisticiens et des informaticiens, tous spécialisés dans la modélisation statistique et informatique pour la biologie. ©INRAE - B. Nicolas



## Science ouverte

Engagé depuis longtemps dans l'ouverture des sciences, INRAE poursuit sa dynamique de structuration de son dispositif et formalise en 2021 une politique pour la science ouverte forte et ambitieuse accompagnée d'un plan d'actions sur toutes ses dimensions.



### INRAE, institut pionnier pour le libre accès aux publications et aux données

La publication en libre accès progresse à grand pas. Alors que l'objectif est de 100 % à l'horizon 2030, INRAE recense déjà, dans son baromètre de la science ouverte de 2021, un taux de 76,5 % de publications accessibles gratuitement (la moyenne nationale est de 62 %). L'engagement se concrétise aussi clairement pour les revues portées par INRAE. Ainsi la revue *Annals of Forest Science* publie, depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2022, tous ses articles en libre accès sur BioMed Central, et les contrats des revues éditées par Springer ont tous intégré un objectif d'ouverture à 100 % d'ici 2024.



Moteur à la fois dans l'ouverture des processus et des résultats de la recherche (publications, données, codes, etc.), INRAE agit avec pour principe : ouvrir tout ce que l'on peut et fermer tout ce que l'on doit.



**Odile Hologne**  
Directrice pour la science ouverte d'INRAE

produites par l'institut et en accès libre. Reconnaisant cette expertise, le ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI) a confié à INRAE le développement du catalogue et de l'entrepôt national des données de la recherche française dans le cadre de la mise en œuvre de la plateforme nationale de dépôt et partage des données de recherche, Recherche Data Gov.

→ [projet-recherchedatagv.ouvrirelscience.fr/](https://projet-recherchedatagv.ouvrirelscience.fr/)



Ouvrir la science c'est aussi ouvrir les données pour des résultats transparents et reproductibles. Un enjeu dont s'est saisi INRAE depuis plusieurs années et qui a conduit en 2018 à la création de Data INRAE, un entrepôt des données





## Renforcer les recherches participatives

À INRAE, l'expression « science et recherches participatives » couvre un large spectre de pratiques qui va de la collecte massive des données auprès de volontaires (crowdsourcing) jusqu'à des démarches de participation plus intenses où les partenaires non académiques sont impliqués dans plusieurs étapes du processus de recherche. « Ces démarches ont en commun le fait d'amener les acteurs de la société à s'intéresser – d'une façon ou d'une autre – à la manière dont la recherche fonctionne. À l'inverse, elles facilitent la connexion des chercheurs avec les questions posées par la société », rappelle Christophe Roturier, délégué aux sciences en société à INRAE.

En 2021, sous l'impulsion du MESRI, INRAE a organisé la première édition du Prix de la recherche participative. Ouvert pour cette première année à l'ensemble des membres d'Agreenium<sup>1</sup>, il a récompensé deux projets. Le prix Crowdsourcing a été remis à CitiQUE, un programme de recherche sur les tiques avec et pour les citoyens, porté par un collectif composé d'acteurs académiques et associatifs. Le prix Participatif a été remis au programme Des semences à l'assiette qui, depuis 20 ans, porte des projets collaboratifs, depuis la sélection participative de variétés de céréales adaptées à l'agriculture biologique et à des systèmes de cultures innovants jusqu'au développement de filières collectives et tiers-lieux alimentaires valorisant la biodiversité. L'édition 2022 sera ouverte à l'ensemble de la communauté scientifique française.

INRAE accompagne les agents qui souhaitent s'engager dans les recherches participatives ou perfectionner leurs pratiques. Cela se traduit par des formations, comme des écoles-chercheurs, ou un dispositif d'accompagnement – Dia-pause – qui propose des rencontres avec les partenaires non académiques sur deux jours pour réfléchir sur ce qu'ils font ensemble, comment ils le font et comment cela peut être amélioré. Enfin, un numéro spécial de la revue *NOVAE*<sup>2</sup> a été dédié aux sciences et recherches participatives fin 2021.



## Analyser l'information au service de la stratégie scientifique

Repérer des problématiques nouvelles, des sujets émergents ou pour lesquels il y a un besoin de recherche, situer ses recherches au sein de l'écosystème scientifique, analyser le positionnement des autres acteurs : ces éléments sont essentiels pour la stratégie scientifique.

Aussi, INRAE s'est doté de nouveaux outils porteurs dans ce domaine. Le portail intranet eVeille dédié à la veille stratégique, lancé en juillet 2021, permet à la fois d'inventorier les veilles existantes à INRAE, de mettre à disposition des outils pour développer et comprendre la veille stratégique, et de fédérer une communauté de veilleurs au sein de l'institut.

C'est ainsi que, depuis avril 2021, des études bibliométriques thématiques ont été réalisées à partir des thèmes de 5 PEPR afin de construire une vision sur l'état de l'art de la thématique et le positionnement de la communauté française et d'identifier les fronts de science liés à chaque thème.

<sup>1</sup> Membres d'Agreenium : INRAE, Cirad, AgroParisTech, Bordeaux Sciences Agro, université de Lorraine-ENSAIA, Toulouse INP-ENSAT, ENSFEA, université de Lorraine-ENSTIB, ENVT, Institut Agro (Dijon, Rennes-Angers, Montpellier), Oniris, VetAgro Sup.

<sup>2</sup> *NOVAE* est une revue en ligne à destination des agents d'INRAE qui fait suite aux *Cahiers techniques de l'Inra*.

◀ Stage de recherche ouvert à différents publics à la plateforme « Tous chercheurs » du programme CitiQUE.

© INRAE - B. Nicolas



# Partenariats et impacts

Coupe de bois de mélèze.  
©INRAE - R. Canta





## Renforcer les partenariats scientifiques en France, en Europe et dans le monde



“

Face aux défis des changements globaux et des transitions à opérer dans les systèmes alimentaires et environnementaux, INRAE conduit une politique soutenue de coopération avec des acteurs de la recherche et de l'enseignement supérieur. La portée de son action passe par son implication dans la structuration en régions de grands sites universitaires nationaux et par son engagement dans des projets aux dimensions européennes et internationales.

Fort de son dispositif de coopération internationale, INRAE a su impulser en 2021 une dynamique globale sur plusieurs grands défis majeurs inscrits à l'agenda mondial : biodiversité, santé globale, climat, ressources naturelles sols et eau, et systèmes alimentaires. L'institut a posé les fondations d'initiatives d'envergure pour la science, notamment en Afrique et en Méditerranée avec le Cirad, l'Institut de recherche pour le développement (IRD), plusieurs partenaires de l'enseignement supérieur français et les partenaires de différentes régions du monde. En outre, plusieurs collaborations phares ont franchi de nouvelles étapes déterminantes avec des partenaires incontournables de renommée mondiale.

”

Jean-François Soussana

Vice-président International

# Enseignement supérieur et politique de sites

## Un nouveau plan d'actions enseignement supérieur et formation

En 2021, l'institut déploie un nouveau plan d'actions enseignement supérieur et formation pour la période 2022-2025. En cohérence avec le plan stratégique INRAE 2030, celui-ci renforce l'implication d'INRAE dans les grands sites universitaires via ses UMR et des conventions de sites pour être moteur au sein d'un écosystème en pleine évolution. Il vise notamment à améliorer le financement, l'accueil, la formation et la mobilité des doctorants.

Il prévoit d'élargir les actions vers les lycées agricoles, les professionnels des filières et plus largement la « société apprenante ». Il encourage l'implication des scientifiques dans l'enseignement supérieur, au niveau des cycles master, ingénieur et doctorat et dans l'accueil des étudiants et stagiaires dans ses unités.

“ L'enseignement supérieur et la formation sont des enjeux majeurs pour INRAE dans la perspective des transitions à réaliser. ”

**Cyril Kao**

Directeur de l'Enseignement supérieur, des Sites et de l'Europe



### En chiffres

**2 000**

Environ 2 000 doctorants conduisent leur recherche au sein des unités INRAE, 30 % sont contractuels de l'Institut.

**30**

INRAE est implanté dans plus de 30 sites universitaires.

Dans le cadre des dispositifs du Plan d'investissement d'avenir (PIA), INRAE est impliqué dans 5 IdEx<sup>(1)</sup>, 5 I-Site<sup>(2)</sup>, 9 EUR<sup>(3)</sup>, 11 SFRI<sup>(4)</sup> et 5 projets Excellence (1<sup>er</sup> vague).

(1) IdEx : Initiatives d'excellence  
(2) I-Site : Initiatives science-innovation-territoires-économie  
(3) EUR : Ecoles universitaires de recherche  
(4) SFRI : Structures de la formation par la recherche dans les initiatives d'excellence

### BRÈVES

#### INRAE signe une convention d'entente stratégique avec l'I-SITE MUSE

Lors du Nouveau Sommet Afrique-France organisé le 8 octobre à Montpellier, INRAE, l'Institut Agro et 13 autres partenaires ont signé avec l'université de Montpellier une convention d'entente stratégique de l'I-SITE MUSE. Cette convention formalise la volonté d'œuvrer ensemble pour la protection de l'environnement, la sécurité alimentaire et la santé humaine.



#### INRAE renforce sa participation dans les stratégies de sites

Parmi les 15 projets retenus dans le cadre du 1<sup>er</sup> appel à projets ExcellenceS du PIA4, 5 ont été soutenus par INRAE. Ces projets affirment les choix stratégiques de plusieurs sites universitaires :

Université de Bordeaux

#### Innovation

Une culture distinctive, des pratiques agiles et des espaces d'opportunités innovants et attractifs

Université Paris-Saclay

#### Springboard

A springboard for the long-term attractiveness of université Paris-Saclay

Université de Montpellier

#### ExposUM

La santé de l'homme dans son environnement

Université de Pau

#### Irekia

The basque country open campus project

Université Bourgogne-Franche-Comté

#### Harmi

Harnessing microbiomes for sustainable development

# Europe



## INRAE et les programmes cadres européens

Le bilan du Programme-cadre pour la recherche et l'innovation de l'Union européenne, Horizon 2020, a placé INRAE en 4<sup>e</sup> bénéficiaire français avec 140 millions d'euros financés sur 7 ans pour 313 projets, dont 55 en coordination. La grande majorité de ces projets (122) relevait du défi 2 « Sécurité alimentaire, agriculture et foresterie durables, recherches marines, maritimes et sur les eaux continentales, et bioéconomie ». Le taux de réussite globale d'INRAE est de 18 %, supérieur à la moyenne française (15 %) et à celle du programme lui-même (12 %). Le dernier appel, nommé Green Deal et qui préfigurait les thématiques phares du nouveau programme, Horizon Europe, a en janvier 2021 qualifié 17 projets INRAE dont un en coordination.

INRAE s'est mobilisé dès l'ouverture de ce nouveau programme doté de 95,5 milliards d'euros pour les 7 années à venir. Ainsi pour l'année 2021 l'institut a déposé 190 projets, dont 15 en coordination, en grande partie sur le cluster 6 (thématiques alimentation, bioéconomie, ressources naturelles, agriculture et environnement).



2021 est une année charnière pour notre politique européenne toujours plus active et qui porte ses fruits.



**Isabelle Albouy**

Directrice-adjointe des Affaires européennes

## Bilan INRAE du programme H2020 (2014-2020)

### Global

**140**

millions d'euros

**313 projets**

dont 55 en coordination

### Défi 2

**69**

millions d'euros

**122 projets**

dont 34 en coordination

## BRÉVES

### Une représentante INRAE à Bruxelles

INRAE renforce sa présence dans les réseaux institutionnels européens avec la nomination à Bruxelles d'une nouvelle représentante, Bénédicte Blaudeau, installée au sein de la maison Irène et Frédéric Joliot-Curie.

### Des financements pour booster la biologie

Le programme European research council (ERC) finance la recherche exploratoire avec pour critère l'excellence scientifique. En 2021, 4 financements ont été attribués : 2 ERC Consolidator en biologie végétale et microbiologie à des chercheurs rattachés à l'Institut des sciences des plantes de Paris-Saclay et à l'Institut Micalis ; et 2 ERC pour les jeunes chercheuses, en écologie et évolution, et en biologie cellulaire, Claudia Bartoli et Kalina Haas.

### La bioéconomie touche les étoiles

Chaque année, les Étoiles de l'Europe du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation distinguent l'engagement européen de chercheurs français. Le 2 décembre 2021, 2 projets coordonnés par INRAE étaient honorés : Zelcor, prix spécial du jury, et NoAW, mention science ouverte. Ces projets s'inscrivent à la croisée de l'économie circulaire et de la bioéconomie pour valoriser les déchets issus de l'agriculture et de l'agroalimentaire.

### INRAE et l'université de Bologne renforcent leur collaboration

Forts de leurs travaux menés en commun sur la scène européenne et internationale depuis 2015, les 2 établissements de recherche ont renouvelé le 15 avril, pour 6 ans, leur accord de coopération dans les domaines de l'agriculture durable, l'alimentation et la bioéconomie.



## International



### Les collaborations internationales se sont renforcées

#### Renouvellement de partenariats phares avec :

- le Belmont Forum sur les changements environnementaux et la durabilité,
- l'Académie des sciences agricoles de Chine (CAAS),
- l'Organisation nationale de recherche sur l'agriculture et l'alimentation du Japon (NARO),
- le CGIAR (*Consortium of International Agricultural Research Centers*), aux côtés du Cirad et de l'IRD, dans le cadre du plan d'actions France-CGIAR sur la nutrition et les systèmes alimentaires, le changement climatique et l'agroécologie,
- et un nouvel accord avec l'Organisation mondiale de la météorologie (OMM).

#### Deux projets majeurs intégrant des partenaires internationaux et nationaux.

- **Le Laboratoire international associé (LIA) MaLife**, avec l'université de California Berkeley aux Etats-Unis, l'université du Pays Basque en Espagne et l'université de Pau en France. Ce LIA vise à mieux comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur la biodiversité aquatique.
- **Le Réseau de recherche à l'international (2RI) Galactinnov**, avec les universités canadiennes de Montréal, Laval, Sherbrooke et McGill, et côté français l'Institut Agro, l'École nationale vétérinaire de Toulouse et l'université de Tours. Ce 2RI est constitué sur le thème de la qualité du lait et des produits laitiers, la santé et le bien-être de la vache laitière.



### INRAE a porté des messages clés lors des grands rendez-vous internationaux

- Prévention des maladies émergentes zoonotiques et solutions fondées sur la nature en favorisant la biodiversité dans la gestion des espaces agricoles et forestiers au **congrès de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) à Marseille** (septembre 2021).



- Solutions offertes par les secteurs de l'agriculture, de la forêt et les autres utilisations des terres (Agriculture, Forestry and Other Land Use-AFOLU) dans la recherche de la neutralité carbone à l'échelle mondiale à la **Conférence des parties à la Convention des Nations unies sur les changements climatiques (COP26) à Glasgow** (octobre-novembre 2021).
- Démarche globale et intégrée pour construire des systèmes alimentaires durables et résilients, lors de la préparation du premier **sommet des Nations unies sur les systèmes alimentaires (UN Food Systems Summit)** à laquelle participait Jean-François Soussana, climatologue et vice-président International d'INRAE. INRAE a également produit un rapport sur le **Processus de Royaumont** ([hal.inrae.fr/hal-03167966/document](https://hal.inrae.fr/hal-03167966/document)), qui s'est appuyé sur des journées scientifiques organisées en amont avec différents partenaires académiques internationaux (universités de Davis en Californie, de Pretoria et l'Australian Centre for International Agricultural Research notamment). Ces différentes contributions au sommet onusien se prolongent depuis via notamment l'implication d'INRAE dans les deux **coalitions d'action** sur la restauration scolaire et l'agroécologie lancées lors de ce sommet.



Congrès mondial de la nature de l'UICN 2020  
©D. Carles / Terra



## Des laboratoires internationaux pour renforcer notre culture et notre visibilité

ENTRETIEN AVEC

Mathieu Buoro

Biologiste spécialiste en écologie évolutive des poissons migrateurs dans l'UMR Ecobiop, coordinateur INRAE du Laboratoire international associé (LIA) Maclife

### Comment est né le LIA Maclife et pourquoi ?

Depuis 2012, Ecobiop a entretenu des relations bilatérales étroites avec nos collègues de Bilbao et de UC Berkeley via le coencadrement de doctorants et post-doctorants, et des mobilités régulières entre nos laboratoires. Ce LIA vise à aller plus loin, car il fournit un cadre scientifique plus cohérent et intégratif, et renforce des collaborations tripartites. L'ambition est de forger, dans chaque site, une culture internationale autour d'une thématique pour la nouvelle génération de scientifiques et de se rendre ainsi visibles et attractifs au sein du paysage académique international.

### En quoi consiste le nouveau dispositif ?

Le LIA permet de mieux nous structurer et de répondre à des appels à projet en commun. Nous bénéficions ainsi d'un soutien du consortium de l'I-SITE E2S UPPA via INRAE permettant d'ores et déjà d'initier des projets plus intégratifs. D'ailleurs, une expérimentation en commun a lieu actuellement sur un site de l'université de Californie. Nous compléterons cette étude en France au travers d'expériences réalisées dans la rivière expérimentale du Lapitxuri (INRAE-Ecobiop). Nous avons également deux thèses en cours sur les réponses bioénergétiques et phénologiques des poissons migrateurs face au changement climatique. En parallèle, nous développons des outils de simulation numé-

rique à l'aide d'une thèse que nous coencadrons avec l'université de Berkeley appuyée par une bourse Fulbright. Ce projet a aussi vocation à faire école et à stimuler une démarche analogue côté Pacifique pour les populations de saumon de la côte Ouest des Etats-Unis.

### En quoi ce LIA contribue-t-il à faire avancer la recherche sur ce sujet au niveau global ?

Le fonctionnement et la dynamique en réseaux des écosystèmes aquatiques et de ses organismes est encore mal comprise en raison d'une dispersion des efforts et des ressources. Rassembler nos efforts, nos expertises et nos installations, définir des protocoles et développer des outils communs nous aidera à répondre à cette problématique. Par son volet multidisciplinaire et sa répartition géographique, le LIA donne du poids pour répondre aux appels à projet internationaux tout en nous amenant à diversifier nos approches à l'échelle locale.

“

Le LIA donne du poids pour répondre aux appels à projet internationaux tout en nous amenant à diversifier nos approches à l'échelle locale.

”



### Des programmes prioritaires internationaux (PPI), créateurs de dynamique scientifique internationale

Les programmes prioritaires internationaux (PPI) sont des démarches soutenues par INRAE. Ils promeuvent l'incubation puis le Coportage d'initiatives scientifiques multipartenariales et internationales sur des thématiques prioritaires repérées par l'institut. Ils facilitent notamment l'élaboration d'une vision partagée et d'un agenda stratégique de recherche avec des partenaires français, européens et internationaux. Le rôle et l'implication d'INRAE dans l'initiative internationale PREZODE illustre cette stratégie, un PPI sur la réduction des maladies émergentes zoonotiques l'ayant précédé.

### PREZODE pour prévenir les maladies émergentes

C'est en partant d'une démarche PPI, initialement avec le Cirad et l'IRD, qu'INRAE a impulsé une initiative internationale portée initialement par la recherche autour des maladies émergentes et désormais par l'initiative Preventing Zoonotic Disease Emergence (PREZODE). L'initiative internationale lancée par le président de la République le 11 janvier 2021 au One Planet Summit à Paris s'est également concrétisée sur le plan national par l'élaboration d'un Programme et équipement prioritaires de recherche (PEPR) avec l'ensemble des acteurs de la recherche française. En lien avec les ministères concernés et en soutien de l'action de l'envoyé spécial de l'Élysée, Jean-Luc Angot, de nombreux échanges ont également



été organisés avec de potentiels futurs partenaires scientifiques et institutionnels, ainsi que plusieurs organisations internationales (FAO, OMS, OIE, PNUE, Banque mondiale). Aujourd'hui, plus de 100 partenaires provenant de 10 pays, scientifiques et acteurs de ces questions dans les ONG et entreprises, participent à ces travaux.

→ [prezode.org](http://prezode.org)

### TSARA pour transformer les systèmes alimentaires et l'agriculture par une recherche en partenariat avec l'Afrique

C'est ensemble avec une vingtaine de partenaires issus de tout le continent africain, dès la toute première phase de conception, qu'INRAE et le Cirad ont souhaité impulser la construction d'un partenariat ambitieux de recherche, innovation et formation pour relever les grands défis qui touchent les systèmes agricoles et alimentaires : leur transition écologique, la lutte contre la désertification et l'appauvrissement des sols, la prise en compte de la contrainte en eau, l'adaptation des forêts et agroforêts au changement climatique, la santé des êtres vivants au sens large et son lien avec l'environnement, la nutrition sous toutes ses formes, et le travail et l'emploi associés.

Ce partenariat contribue aux priorités de l'Union européenne et de l'Union africaine en matière de collaboration en recherche, innovation et formation. Ces travaux ont permis le lancement de l'initiative conjointe « Transformer les systèmes alimentaires et l'agriculture par la recherche en partenariat avec l'Afrique » (TSARA) en mars 2022. Avec TSARA, l'objectif est de développer ensemble une recherche partenariale de haute qualité, tournée vers l'impact, vers

“

INRAE avec le Cirad renforcent leur recherche en partenariat avec les institutions africaines.

”

Ségolène  
Halley des Fontaines

Directrice des relations internationales

la formation et vers la coconstruction d'innovations avec des acteurs du monde rural et urbain. Il s'agit aussi de renforcer les capacités, l'expertise et l'appui aux politiques publiques.

INRAE s'est engagé avec la mobilisation de ses 14 départements scientifiques, de son dispositif de coopération internationale et, pour commencer, de quelques moyens nouveaux de l'ordre de 250 k€ par an.

### BRÈVE

#### Maghreb-France : la R&D pour répondre aux enjeux des systèmes agricoles et alimentaires méditerranéens

INRAE a Coorganisé, avec l'IRD et le Cirad les 9 et 10 décembre 2021, un atelier scientifique régional Maghreb-France autour des nouveaux enjeux de recherche et d'innovation sur les systèmes agricoles et alimentaires méditerranéens face aux changements et facteurs de stress hydrique auxquels les pays de la région sont de plus en plus confrontés. L'objectif premier était de construire une vision commune et renouvelée d'une recherche interdisciplinaire orientée vers l'innovation territoriale tout en s'appuyant sur des sites de démonstration à horizon 2030. La création d'un dispositif partenarial pour enrichir l'agenda stratégique de recherche-action est prévu. Il démarre à l'échelle du Maghreb et de la France et pourra rapidement intégrer d'autres pays du bassin méditerranéen concernés par ces problématiques et développant ce nouveau type d'approches scientifiques.



## L'innovation, l'expertise et l'appui aux politiques publiques au service de l'impact de la recherche



“

Guidé par la volonté de travailler sur les défis sociétaux en étant plus innovant, plus réactif, pour proposer des solutions et des outils d'aide à la décision, initier des démarches de transition ou de transformation, INRAE a poursuivi son action en 2021 pour structurer ses activités d'expertise et d'appui aux politiques publiques (typologie, cartographie, veille stratégique), pour développer des partenariats aux niveaux national, européen et à l'international et pour renforcer ses dispositifs de coopération avec les acteurs socioéconomiques.

”

**Patrick Flammarion**

Directeur général délégué à l'Expertise  
et à l'Appui aux politiques publiques

# Expertise et appui aux politiques publiques



## Une dynamique de partenariat renforcée avec les acteurs publics

### Reconnaissance des dispositifs pérennes d'appui aux politiques publiques (DPAPP)

En 2021, le ministère en charge de l'Agriculture et INRAE ont reconnu 10 DPAPP et confirmé la pérennité de leurs moyens pour 5 ans. Ces dispositifs gèrent les données nécessaires à la mise en œuvre de politiques portées par le ministère, articulées avec des obligations réglementaires européennes ou internationales. Ils font l'objet d'un pilotage et d'un suivi stratégique conjoint. Les 10 DPAPP reconnus sont :

- les 3 plateformes d'épidémiologie (santé animale, santé végétale et sécurité de la chaîne alimentaire),
- la base de données zootechniques nationale (BDZN),
- l'évaluation de l'innovation végétale et la qualité des semences et plants (GIP GEVES),
- le suivi de la qualité et la cartographie des sols (Infosol),
- les certificats d'économie de produits phytosanitaires (CEPP),
- l'Observatoire du développement rural (ODR),
- l'Observatoire de la qualité de l'alimentation (OOALI),
- le Centre national de référence sur le bien-être animal (CNR BEA).

Une démarche équivalente a été lancée avec les dispositifs copilotés avec le ministère de la Transition écologique et celui de la Santé et des Solidarités.

### Une qualité d'expertise certifiée

En février 2021, INRAE a reçu la certification ISO 9001 pour l'ensemble de son système qualité d'expertise ayant trait à la gestion des risques gravitaires en montagne (avalanches de neige, chutes de blocs, laves torrentielles...) et des ouvrages hydrauliques (barrages, digues...), deux domaines à fort enjeu de sécurité publique et faisant l'objet de dispositifs pérennes avec le ministère de la Transition écologique.

### Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique

En 2021, lors du Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, les ministères en charge de l'Agriculture et de l'Environnement ont invité les parties prenantes à définir ensemble les bases d'une stratégie d'adaptation de l'agriculture au changement climatique et à inscrire les actions et outils prioritaires dans une feuille de route commune. INRAE a été impliqué tout au long du processus en apportant des éléments scientifiques de cadrage. Plus d'une vingtaine d'experts ont ainsi contribué directement aux travaux. Ils ont notamment insisté sur l'importance de la mobilisation de l'ensemble des leviers pour répondre à l'urgence du problème et sur la nécessité d'une approche globale intégrant l'ensemble des acteurs, tout en veillant à la compatibilité avec les autres enjeux environnementaux. La cellule Recherche innovation transfert (RIT) associant INRAE, les Instituts techniques agricoles (ACTA) et l'Assemblée permanente des chambres d'agriculture (APCA) pour accélérer la transition agroécologique a été mobilisée pour l'élaboration d'une base de données des leviers d'adaptation au changement climatique partagée avec le réseau mixte technologique (RMT) ClimA. Enfin, INRAE a signé aux côtés des ministres, des interprofessions, des conseils spécialisés de FranceAgriMer, de l'APCA et de l'ACTA, la Charte d'engagements pour l'adaptation de l'agriculture au changement climatique.

Conclue par le Premier ministre le 1<sup>er</sup> février 2022, cette concertation a donné lieu à un plan de mesures gouvernementales déjà engagées. INRAE prendra toute sa part, avec tous ses partenaires, dans les actions à venir.



© C. Saïdou/agriculture.gouv.fr



## Structuration de collaborations nationales intégrant l'échelle des territoires

Afin de développer les activités d'expertise et d'appui aux politiques publiques, 5 accords-cadres de 5 ans ont été signés par INRAE.

### Avec 3 partenaires publics nationaux, pour renforcer l'accompagnement des transitions :

- L'ADEME, pour apporter des solutions et des outils d'aide à la décision, en mobilisant les systèmes agricoles, alimentaires et forestiers.
- Météo-France, afin de mettre à disposition les données croisées des projections climatiques et météorologiques et des données sur l'agriculture, la forêt, le cycle de l'eau et la biodiversité, leur gestion et les risques associés.
- Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (Cerema), pour produire des connaissances scientifiques, méthodes et outils, et apporter une expertise pour la transition environnementale des territoires.

### Avec deux acteurs des territoires, lieux d'expérimentation des transitions :

- La Fédération des parcs naturels régionaux de France (convention associant aussi l'Institut Agro et AgroParisTech).
- L'Association nationale des pôles territoriaux et des pays (ANPP), autour d'approches partenariales et participatives, sur des enjeux de transition alimentaire et agricole, et d'attractivité des territoires.



Le parc national des Cévennes, vu du mont Aigoual en direction du nord.  
©INRAE - J.M. Bossennec





## Un développement de la culture de l'expertise et de l'appui aux politiques publiques

### Première école-chercheurs « Appui aux politiques publiques »

Organisée en octobre 2021, l'école a réuni une cinquantaine de participants pour décloisonner les pratiques et consolider les compétences afin de développer une culture commune et enrichir les projets.

### Les enseignements de 20 ans d'expertises, prospectives et études

En 20 ans, 17 expertises scientifiques collectives, 11 études et 16 prospectives ont été réalisées par la Direction de l'expertise collective scientifique, de la prospective et des études (DEPE). L'analyse lexicale de ce corpus d'exercices souligne le besoin d'avoir une vision plus systémique des problématiques associant l'agriculture, l'alimentation et l'environnement et aussi de prendre en charge des enjeux émergents en lien avec les risques, les territoires notamment urbains et la bioéconomie par exemple.

Le catalogue des études et expertises menées sur 20 ans a été publié en février 2021.

→ [url.inrae.fr/31ET5g3](http://url.inrae.fr/31ET5g3)



### Actualisation du guide de l'expertise scientifique collective au service de la relation science-société

Le guide de l'expertise scientifique collective, réalisé par la Direction de l'expertise scientifique collective, de la prospective et des études (DEPE), détaille les principes et modalités de rigueur et d'impartialité qui président à la conduite de celles-ci pour renforcer son impact. En novembre 2021, une nouvelle version a été diffusée, complétée sur 4 points : les liens d'intérêts (qui font l'objet d'une approche collective), la relation à la société et au citoyen (avec la création de comités consultatifs d'acteurs), la place des revues systématiques et des méta-analyses, et la question de la valorisation de ces opérations.

→ [url.inrae.fr/31EID9I](http://url.inrae.fr/31EID9I)



## Partenariat et innovation



### la stratégie d'INRAE pour l'innovation s'enrichit des laboratoires partenariaux associés (LPA)

En 2021, l'ensemble des actions d'INRAE en faveur de l'innovation a été poursuivi, en interne et en externe, notamment par la mise en visibilité des offres de compétences scientifiques et technologiques des domaines d'innovation et des 5 Carnot, le renforcement des collaborations avec les acteurs du développement (Société d'accélération du transfert des technologies-SATT, pôles de compétitivité), et par le soutien à la prématuration. L'ouverture aux partenaires socioéconomiques s'est intensifiée encore avec la création de laboratoires partenariaux associés.

En réunissant pour 5 ans sur un même site, compétences et équipements, ces nouveaux dispositifs visent à renforcer la pertinence des recherches, accélérer le transfert des connaissances et leur traduction en innovation. Cinq LPA ont été mis en place en 2021, comme par exemple LA PEPITE R&D. Installées au Rheu (35), les équipes d'INRAE et de Terres Inovia, l'institut technique de la filière des huiles et protéines végétales, ont mis en commun leurs savoir-faire



Avec les laboratoires partenariaux associés, nous avons lancé un nouveau dispositif d'ouverture de nos unités pour coconcevoir et coréaliser des innovations avec les partenaires socioéconomiques



**Philippe Lénée**

Directeur Partenariat et Transfert pour l'innovation

au service de la recherche et du développement des systèmes de cultures performants, innovants et économes en intrants. Soixante collaborateurs en génétique, pathologie, entomologie et écologie y travaillent ensemble pour améliorer la régularité de rendement du colza et des légumineuses et réduire le recours aux produits phytosanitaires.

➤  
Lancement du  
Laboratoire  
partenariat associé  
(LPA) entre Terres  
Inovia et l'INRAE  
qui se situe dans  
l'UMR de l'IGEPP.  
©INRAE  
E. Beaumont





### Accélérer l'innovation en se rapprochant des pôles de compétitivité

INRAE a signé son premier accord-cadre tripartite avec deux pôles de compétitivité : AgriSudOuest Innovation et Valorial. Cet accord vise à mieux connaître les besoins du marché et favoriser le transfert notamment par la mise en réseau des acteurs publics et privés agissant dans les filières de l'agriculture, de l'agroalimentaire et des agro-industries, sur les dimensions territoriale, nationale et européenne.

### L'innovation dans les territoires : TETRAE

Prenant appui sur les acquis du précédent programme Pour et sur le développement rural (PSDR), INRAE a lancé TETRAE 2021-2027 (Transition en territoires de l'agriculture, l'alimentation et l'environnement), un programme d'innovation ouverte au plus près des territoires mené avec les régions afin de répondre aux grands enjeux agricoles, alimentaires et environnementaux. En 2021, les régions Auvergne-Rhône-Alpes et Occitanie ont passé des contrats avec INRAE pour des programmes en cohérence avec les objectifs stratégiques INRAE 2030.

→ [tetrae.fr](https://tetrae.fr)



©INRAE

### Seed'In Tech pour des semences plus fortes

À la suite d'un projet de maturation financé par la SATT Paris-Saclay, la start-up Seed'In Tech a été créée en 2021. Elle propose une méthode de traitement des semences qui augmente les capacités germinatives et la résistance aux différents stress et maintient leur longévité.

→ [seedintech.com](https://seedintech.com)



### Des webinaires internes pour renforcer l'esprit entrepreneurial

Ouverts à toute la communauté de recherche et d'appui, les Share & Learn sont l'occasion de partager des expériences et des bonnes pratiques autour du partenariat, de la valorisation et de la création d'entreprise sous forme de webinar. En 2021, 10 Share & Learn ont illustré des sujets concrets tels que l'innovation sociale avec Opticourses®, le financement de la recherche par le crédit impôt recherche ou les start-up studios avec Technofounders qui a incubé la start-up Bliss.

### Les petites et moyennes entreprises au centre de nos attentions

Afin d'aider à l'émergence d'innovations et de faciliter leur appropriation, les petites et moyennes entreprises (PME) et les entreprises de taille intermédiaire (ETI) sont au centre des attentions d'INRAE. 48 % des doctorants CIFRE codirigés par INRAE sont salariés de PME ou de très petites entreprises (TPE). Une communication spécifique et des échanges via les actions de l'Agence nationale de recherche technologique (ANRT) et des pôles de compétitivité ont rendu l'offre plus lisible pour ces entreprises. En 2021, les TPE et PME représentent 21 % des recettes contractuelles de l'institut.

### La prématuration : un levier indispensable pour le transfert des résultats de recherche

INRAE soutient la prématuration afin de multiplier les chances de transférer ses résultats de recherche. En 2021, l'institut a financé 12 projets « Coup de pouce technologique », 2 projets « Coup de pouce start-up » et 2 projets « Coup de pouce Innovation sociale » pour un montant total de 700 k€. Cette prématuration vise à monter en niveau de maturité (TRL, Technology Readiness Level\*) des projets d'innovations technologiques, sociétales, sociales ou solidaires, issus des laboratoires d'INRAE. Elle permet de multiplier par 3 le taux de transfert et de valorisation.

\* L'échelle TRL évalue le niveau de maturité d'une technologie jusqu'à son intégration dans un système complet et son industrialisation.



# Vie des collectifs

Colonie d'abeilles domestiques  
©INRAE - C. Maître

AEO





## Des fonctions support en amélioration continue



“

En 2021, face à la crise liée à la pandémie, INRAE a montré ses capacités de résilience et poursuivi ses activités, dans un cadre moins contraint en seconde partie d'année. L'institut s'est engagé dans l'élaboration d'un deuxième Plan de modernisation des fonctions support (PMFS 2022-2025), conçu de façon collective avec l'ensemble du management en charge du soutien et de l'appui et les présidents de centres. Ce plan porte les ambitions d'INRAE2030 et contribue aux Objectifs de développement durable. Adoptant une démarche d'amélioration continue, il se concentre sur 3 priorités :

- consolider et moderniser l'action de l'Institut en se plaçant mieux au cœur de l'Enseignement supérieur et recherche (ESR), en centrant l'action sur les unités, en améliorant la résilience ;
- impulser les grandes transitions Responsabilité sociétale et environnementale (RSE) et numérique essentiellement ;
- communiquer sur les atouts de l'institut pour recruter, développer et fidéliser les meilleures compétences.

”

Fabrice Marty

Directeur général délégué Ressources



## Vers une programmation pluriannuelle des projets et des ressources

Afin de consolider son modèle économique et d'améliorer sa programmation budgétaire, INRAE a réalisé de nombreux chantiers : nouveau dialogue de gestion entre les centres et la direction financière ; refonte de l'outil de simulation des évolutions de la masse salariale et des effectifs ; adoption d'une politique de tarification des activités et signature d'une deuxième convention d'objectifs et de moyens avec l'université d'Angers.

Les efforts des dernières années ont permis d'améliorer largement l'exécution budgétaire des ressources propres issues des contrats de recherche et prestations des unités : 98,6 % des recettes inscrites au budget initial ont été réalisées en 2021 contre 94,1 % en 2020. Par ailleurs, dans un souci d'amélioration continue des fonctions support et de pilotage, 250 gestionnaires d'unité ou de centre ont bénéficié du dispositif de formation sur la fonction finances mis en place en 2020 et désormais pérenne. Ces formations sont complétées d'un nouveau livret d'accueil présentant les différents réseaux existants, les principales règles métier, les grandes lignes du parcours de formation, etc.

“

Je veux remercier la fonction finances dans son ensemble - depuis les unités jusqu'au siège en passant par les centres - et aussi saluer la coconstruction avec toute la sphère scientifique, notamment les porteurs de projets et d'infrastructures, d'une politique de tarification ambitieuse et équilibrée. Le renforcement de notre modèle économique pour l'avenir est une dynamique partagée dans la science et dans l'appui.

”

Louis-Augustin Julien

Directeur des Affaires financières  
et de l'Achat



◀ Collectif au Centre national de ressources génomique végétale (CNRGV) au centre INRAE Occitanie-Toulouse. ©INRAE - C. Maître



## Renforcer la maîtrise des risques

En matière de sécurité, INRAE a consolidé son dispositif de Sécurité des systèmes d'information (SSI) en vue de risques de cyberattaques avec l'élaboration d'une politique générale (PGSSI) qui sera déployée en 2022. Pour satisfaire des besoins réglementaires et répondre à des exigences partenariales, l'Institut s'est engagé dans un processus d'homologation de ses systèmes d'information selon les normes d'analyse des risques. Dix SI ont été homologués en 2021, 30 sont en cours et l'homologation est devenue un préalable à toute mise en service d'un nouveau système d'information.

Une cartographie des risques stratégiques a été mise à jour. Un plan d'action est en cours. De même, une cartographie des grands processus a été réalisée pour recenser les risques majeurs émergents et mettre en place des actions d'amélioration.

Quant aux risques professionnels et environnementaux, le pôle Prévention et sécurité du travail, très sollicité par la pandémie, a poursuivi l'accompagnement des agents avec notamment la mise à jour au gré de l'évolution de la situation et des consignes nationales (16 versions) du guide *Consignes de prévention relatives à la situation d'épidémie de Covid-19 à appliquer sur le lieu de travail*. Une cellule d'écoute psychologique confidentielle et gratuite a été mise en place et sera pérennisée.

2021 et d'ores et déjà lancée, se traduit par exemple à travers la réforme du processus d'avancement et, dans le cadre de la loi de la programmation de la recherche, par la revalorisation des rémunérations via la part indemnitaire. Enfin, INRAE s'est doté également d'un nouveau dispositif de médiation pour la gestion des conflits internes avec la création de la Cellule d'accompagnement des situations complexes (CASC).

### Egalité, diversité, un engagement et une réalité

En janvier 2020, INRAE était le premier établissement public de recherche à obtenir la double labellisation Diversité et Égalité professionnelle (dite labellisation Alliance) délivrée par l'Association française de normalisation (Afnor) sur la base du suivi de 4 centres pilotes. Sa politique en matière de diversité, de lutte contre les discriminations et d'égalité professionnelle entre les femmes et les hommes était ainsi récompensée. Réalisé en 2021, un nouvel audit de l'Afnor a confirmé la labellisation et son extension à l'ensemble des 18 centres. Le premier bilan de situation comparée INRAE sur les données 2020 montre en particulier que les pourcentages de femmes et d'hommes sont presque égaux au niveau de l'institut et que, si des différences persistent dans certains corps et grades, le pourcentage de femmes directrices de recherche de classe exceptionnelle a été multiplié par 4 en 4 ans, passant de 6,9% en 2017 à 31,7% en 2020.



Soutenir la diversité et l'égalité consiste notamment à lutter contre les biais inconscients.



Catherine Beaumont

Déléguée à la Parité et à la lutte contre les discriminations



## Une dynamique RH qui s'intensifie

La feuille de route 2021-2025 de la fonction des ressources humaines d'INRAE a été finalisée autour de 2 axes : consolider et moderniser l'action de la fonction RH dans une démarche d'amélioration continue et anticiper les mutations à venir pour INRAE. La mise en œuvre de cette nouvelle feuille de route, validée fin



Un mot d'ordre : être mobilisé au service des collègues et des collectifs.



Camille Michon

Directrice des Ressources humaines

La sensibilisation et la formation forment un des axes forts de ces plans d'actions, avec notamment des moments emblématiques (Journée des femmes et filles de sciences, Journée internationale des droits des femmes et Semaine européenne de l'emploi des personnes en situation de handicap) et un kit du recrutement des personnels contractuels, constitué de conseils, de préconisations, d'outils d'aide à la décision et de vidéos. En matière de communication, une notice pour une écriture respectueuse des genres a été élaborée. Pleinement intégrée à sa politique diversité-égalité professionnelle, la politique handicap de l'institut s'appuie sur une convention renouvelée avec le FIPHFP et déclinée dans un plan d'actions 2021-2023.



^  
Esther Dzalé.  
Prix appui à la Recherche, Lauriers INRAE 2021. Unité Direction pour la science ouverte (DipSO).  
©INRAE - C. Maître

## BRÈVES

### Un catalogue de services informatiques enrichi

Le catalogue de services informatiques d'appui et de proximité a été consolidé, notamment avec un renforcement de l'offre de services collaboratifs en réponse à la montée en puissance du télétravail.

### Un an après la fusion Inra-Irstea, la vigilance perdure

Dans un contexte toujours marqué par les contraintes liées à la pandémie et un recours important au travail à distance, INRAE a poursuivi en 2021 la consolidation de sa nouvelle communauté. L'institut a veillé à maintenir le lien grâce à une animation continue des collectifs et a poursuivi son accompagnement des populations directement concernées pour l'appropriation et la maîtrise des outils et méthodes de travail. Cette attention aux collectifs sera poursuivie dans le cadre du suivi de la fusion.

### Les enseignements de la gestion de crise du Covid-19

Le retour d'expérience (RETEX) réalisé fin 2020 sur la gestion de crise du Covid (voir Rapport d'activité 2020) a été complété d'une enquête sur le ressenti des agents, menée en lien avec le Comité central d'hygiène et de sécurité et des conditions de travail (CCHSCT) en 2021. Les recommandations ont notamment donné lieu à l'élaboration d'un plan d'actions « gestion de crise ». Par ailleurs, compte tenu de l'importance des outils de travail et d'animation des collectifs à distance dans un contexte de télétravail, un recensement des besoins en équipements audiovisuels a été menée avec les centres. Un autre RETEX à froid, quelques mois après la fin de la crise, est prévu.



## Un institut responsable

INRAE est engagé dans une démarche de responsabilité : responsabilité sociétale et environnementale (RSE) et également éthique et déontologie.



### La responsabilité sociétale et environnementale s'impose et se structure

Largement plébiscitée lors des consultations internes réalisées pour l'élaboration du plan stratégique INRAE 2030, la responsabilité sociétale et environnementale de l'institut s'est structurée en 2021, avec notamment la création de la direction de la Responsabilité sociétale et environnementale (DRSE) et d'un réseau de responsables.



La RSE, c'est l'affaire de toutes et de tous pour donner plus de sens à nos activités et renforcer la cohérence entre notre fonctionnement et le sens de nos recherches.



**Benoît Malpaux**

Directeur de la RSE



**RESPONSABILITÉ  
SOCIÉTALE ET  
ENVIRONNEMENTALE**



### Un plan d'action 2021-2025

Pilote des établissements publics à caractère scientifique et technologique (EPST), INRAE a élaboré son premier plan d'action RSE 2021-2025 en s'appuyant sur le référentiel national Développement durable et responsabilité sociétale (DD&RS) de l'Enseignement supérieur et de la recherche.

L'ensemble de l'institut est impliqué dans la mise en œuvre de ce plan qui identifie 70 actions déployées localement en tenant compte notamment des stratégies de site et des schémas de centres. Un réseau de responsables RSE garantit ce déploiement et des relais développement durable agissent pour l'intégration de ces objectifs au niveau des projets d'unités, sachant que les directions restent pilotes des actions relevant de leur périmètre.

La moitié des actions sont déjà en cours ; certaines, d'envergure, ont été opérationnelles en 2021 :

- l'arrêt de l'utilisation du glyphosate dans l'ensemble des unités expérimentales INRAE ;
- la labellisation ISO 14001 (système de management environnemental) des unités expérimentales, 25 sur 45 le sont ;
- l'élaboration d'un guide de communication écoresponsable pour toute personne en charge d'une action ou d'un événement communication.

→ [url.inrae.fr/39RIUC2](http://url.inrae.fr/39RIUC2)





## Déontologie, intégrité scientifique et éthique des projets de recherche



La structuration de la Délégation à la déontologie, à l'intégrité scientifique et à l'éthique des projets de recherche s'est complétée en 2021 avec la nomination d'une référente à l'évaluation éthique des projets de recherche, aux côtés des référents à l'intégrité scientifique et de la référente déontologie. Parmi les actions menées en 2021, la délégation a produit une note sur l'autorat des publications en partenariat avec la Direction pour la science ouverte. Le chantier majeur de l'année a porté sur l'expression publique. Il était copiloté par la délégation et par la Direction de la communication (Dircom), et associait la référente déontologie. Ce chantier a mené à la publication d'une charte d'expression publique en 2022.

→ [url.inrae.fr/38fDwrU](http://url.inrae.fr/38fDwrU)



## La charte d'expression publique

ENTRETIEN AVEC

**Françoise Simon-Plas**

Déléguée à la Déontologie, à l'Intégrité scientifique et à l'Éthique des projets de recherche

**Sandrine Vinzant**

Directrice de la Communication

### Pourquoi cette charte ?

*F. Simon-Plas* : Alimentation, agriculture, environnement sont au cœur d'enjeux sociétaux majeurs et parfois objets de débats. INRAE est attendu et écouté sur ces questions. La qualité du dialogue entre les scientifiques et les citoyens est essentielle, et parfois délicate. La crise du Covid-19 a illustré ces difficultés et montré les risques avec parfois la mise à mal des fondements de la démarche scientifique que sont la rigueur, l'honnêteté, la fiabilité et la transparence des méthodes utilisées, l'absence de conflit d'intérêts et l'évaluation critique par les pairs. Aussi avons-nous souhaité accompagner les scientifiques et l'ensemble des agents dans ce dialogue et les outiller dans les différentes situations d'expression publique, dans le respect de leur liberté d'expression. L'enjeu est de donner des repères partagés en matière de déontologie, d'éthique et d'intégrité en intégrant ces valeurs fondatrices de la démarche scientifique à l'expression publique.

### Comment avez-vous procédé ?

*S. Vinzant* : Nous avons formé un groupe de travail associant nos directions et délégations, procédé à l'audition de scientifiques, de présidents de centre et de chefs de département, confrontés à ces problématiques, pour aboutir à une charte et des fiches pratiques. La charte, présentée au Conseil scientifique et cohérente avec la charte nationale de déontologie des

“

Nous avons souhaité accompagner les scientifiques et l'ensemble des agents [...] et les outiller dans les différentes situations d'expression publique, dans le respect de leur liberté d'expression.

Françoise Simon-Plas

”

métiers de la recherche et la charte de déontologie, d'intégrité scientifique et d'éthique INRAE, donne un cadre et les principes à respecter en matière d'expression publique. Les fiches pratiques prodiguent des conseils selon les situations, illustrés de cas pratiques et enrichis de définition et de documents sources. Elles permettent à chacun de préparer sa prise de parole à l'aide de questions pour se sentir *in fine* mieux armé.

“

Les fiches pratiques [...] permettent à chacun de préparer sa prise de parole à l'aide de questions pour se sentir *in fine* mieux armé.

Sandrine Vinzant

”



## Le Comité consultatif commun d'éthique INRAE-Cirad-Ifremer-IRD

Composé de 13 membres, personnalités françaises ou étrangères, nommées en raison de leur compétence et leur intérêt reconnu pour les questions d'éthique, le comité consultatif commun d'éthique INRAE-CIRAD-Ifremer-IRD apporte un regard extérieur sur les questions éthiques soulevées par la recherche, invitant au dialogue. Présidé par Axel Kahn depuis 2016, le comité a, à la suite de son décès en juillet 2021, nommé **Michel Badré** et **Bernadette Bensaude-Vincent** en qualité de président et de vice-présidente. S'autosaisissant de questions, le comité a réalisé 3 notes depuis 2019, sur les besoins humains, ressources naturelles et préservation de la biosphère, sur les conflits liés à la gestion de l'eau dans les zones littorales, et sur la gestion des sols. Ces notes seront publiées conjointement fin 2022, accompagnées d'une préface d'Axel Kahn.



Michel Badré  
©INRAE - C. Maître

Bernadette Bensaude-Vincent  
©B. Martinez

### Des initiatives pour une approche éthique de l'utilisation des animaux à des fins scientifiques

L'utilisation des animaux à des fins scientifiques reste nécessaire pour améliorer la santé humaine et animale, mais aussi pour la recherche agronomique, la préservation des espèces et de l'environnement. Afin de minimiser l'usage des animaux et leur stress potentiel, les réglementations européenne et française visent l'application du principe dit des 3R : remplacement, réduction, raffinement.

Pour soutenir l'application de cette réglementation 3R, un centre de référence intitulé France Centre 3R (FC3R) a été créé, en 2021, à la demande du ministère de la Recherche sous forme d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS). INRAE en est membre fondateur aux côtés des autres acteurs majeurs de la recherche publique française. Le FC3R, situé à l'École nationale vétérinaire de Maisons-Alfort, a pour mission de favoriser la formation et la communication autour des 3R, et de soutenir le développement de méthodes respectant l'intégrité des animaux (méthodes non invasives, modèles cellulaires, etc.).

D'autre part, afin d'informer tous les citoyens sur les raisons et les conditions de l'utilisation d'animaux à des fins scientifiques, INRAE

et une quarantaine d'acteurs publics et privés de la recherche française ont signé en février 2021 une charte de transparence. Elle engage les signataires à progresser en matière d'information et d'échanges avec le public et à en rendre compte par un rapport annuel. Les statistiques des animaux utilisés et les résumés non techniques des expérimentations sont par ailleurs rendus publics sur le site du ministère de la Recherche.



Ces initiatives s'inscrivent dans la volonté de l'institut d'accompagner les collectifs de recherches en biologie animale et humaine dans l'évolution de leurs approches pour obtenir des résultats fiables tout en prenant en compte l'évolution continue de la place de l'animal dans notre société.



**Françoise Médale**

Cheffe du département Physiologie animale  
et systèmes d'élevage



Lauriers 2021 INRAE. Prix collectif « Impact de la recherche », réseau Bien-être animal.  
Physiologie animale et systèmes d'élevage (PHASE).  
©INRAE - C. Maître



# les Lauriers

NOVEMBRE 2021  
GROUND CONTROL  
PARIS



Sept Lauriers ont été remis le 29 novembre 2021 lors d'une cérémonie en présence de la ministre chargée de la Recherche et introduite par une vidéo du ministre de l'Agriculture. Le jury international a consacré cinq parcours remarquables et deux collectifs pour l'impact de leurs travaux pour la société.

82



Hervé  
Vaucheret

## Grand Prix de la Recherche agronomique

Explorer l'inattendu : des plantes transgéniques « anormales », quasiment repêchées dans la poubelle, éclairent sur la manière dont les plantes éteignent les gènes étrangers, y compris ceux des virus qui les attaquent. Avec à la clé des avancées remarquables sur l'immunité et la reconnaissance du non-soi chez les plantes : 135 publications, plus de 2 000 citations et de nombreux prix scientifiques. « C'est dans la confiance que l'on tire le meilleur parti des chercheurs », souligne Hervé Vaucheret.

Directeur de recherche à l'Institut Jean-Pierre Bourgin,  
Centre Île-de-France-Versailles-Grignon.



Collectif de recherche  
sur le bien-être animal

**Prix collectif Impact de la recherche**

Vaches, brebis, porcs, poules... « Les animaux ont une psychologie, ils ressentent des émotions et sont capables de les interpréter, voire de les communiquer. » Depuis plus de 20 ans, les travaux d'INRAE contribuent à mieux comprendre les animaux d'élevage pour améliorer leurs conditions de vie. « Aujourd'hui, toutes les filières ont intégré ces notions dans leurs schémas de production. »

Les 8 chercheurs récompensés représentent un réseau d'une centaine de personnes, éthologistes, vétérinaires, généticiens, zootechniciens, animaliers et étudiants de plusieurs centres INRAE.



Équipe InfoSol

**Prix collectif Impact de la recherche**

Montrer la face cachée du sol... Créée en 2000, l'unité InfoSol acquiert et valorise des données sur les sols français. Elle gère une collection de plus de 70 000 échantillons de sols et un système d'information national sur leur état et leur évolution. Informations précieuses pour les politiques sanitaires de dépollution autant que pour les politiques agricoles. Ce dispositif est l'un des 10 pérennisés par le ministère (voir p.65). « On est passé du sol vu comme un simple support de production à la perception d'un milieu vivant et complexe. »

C'est l'un des dispositifs pérennes d'appui aux politiques publiques

Centre INRAE Val de Loire



Esther  
Dzalé

**Prix Appui  
à la recherche**

Elle rend accessibles à tous, en ligne, tous les produits de la recherche d'INRAE : données, logiciels, publications, etc.

Ingénieure de recherche en informatique, responsable du pôle Numérique à la Direction pour la science ouverte d'INRAE, centre Île-de-France-Versailles-Grignon



Jeanne-Marie  
Membré

**Prix Innovation  
pour la recherche**

Féru de modélisation, elle a développé de nombreuses approches et outils pour évaluer, de manière quantitative, les risques et les bénéfices des aliments.

Ingénieure de recherche, UMR Sécurité des aliments et microbiologie, centre INRAE Pays de la Loire



Laurent  
Philippot

**Prix  
Défi scientifique**

Curiosité, soif d'apprendre et de transmettre... Ce sont les mots qui lui viennent pour expliquer sa vocation de chercheur. Il travaille en écologie microbienne.

Directeur de recherche, UMR Agroécologie, centre INRAE Bourgogne-Franche-Comté



Lucie  
Marandel

**Prix  
Espoir scientifique**

« Sans recherche fondamentale, pas d'applications possibles ».

Lucie étudie de nouveaux nutriments pour une alimentation plus durable des poissons d'élevage.

Chargée de recherche, UMR Nutrition, métabolisme aquaculture, centre INRAE Nouvelle-Aquitaine Bordeaux



## Nos scientifiques distingués



### Prix Jeunes talents France L'Oréal-Unesco « Pour les femmes et la science »

**Young-Kyoung Park** (Institut Microbiologie de l'alimentation au service de la santé) est une des lauréates de l'édition 2021 de ce prix destiné à révéler et récompenser de jeunes chercheuses prometteuses. Ses travaux portent sur le développement de la levure via l'ingénierie métabolique pour produire des huiles microbiennes comme alternatives aux combustibles fossiles.

fraisier et sa production dans un contexte de changement climatique, en lien avec la filière professionnelle.

Deux **médailles de vermeil de l'Académie** distinguent des parcours d'excellence : **Dominique Desbois** (unité Économie publique) dont les travaux portent sur la microéconomie de la production agricole ; **Marie-Hélène Wagner**, ingénieure INRAE dans le Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences (Geves), pour le développement de méthodes d'analyse de la qualité physiologique des semences et d'un service de phénotypage des semences et plantules.

Cinq **médailles d'argent Dufrenoy de l'Académie** récompensent les meilleurs travaux de thèse soutenus l'année précédente. **Anne-Lise Boixel** (unité Biologie et gestion des risques en agriculture) étudie les effets de l'hétérogénéité thermique sur l'adaptation des populations d'agents phytopathogènes. **Margot Leclère** (unité Agronomie) est récompensée pour sa démarche méthodologique multiacteurs afin d'accompagner la transition agroécologique par la diversification des espèces au sein d'un territoire, **Hélène Fargeon** (unité Ecologie des forêts méditerranéennes) pour son travail sur l'évolution du risque incendie de forêt en France en contexte de changement climatique. Les travaux de **Laëticia Cardona** (Unité Procédés biotechnologiques au service de l'environnement) contribuent à mieux connaître les microorganismes impliqués dans le fonctionnement des bioréacteurs anaérobies, sources de production d'énergie renouvelable. La thèse de **Loïc Mazenc** (unité Agroécologie, innovation, territoires) apporte des connaissances nouvelles sur les chefs de culture.

84

Young-Kyoung Park



### Prix de l'Académie d'agriculture de France

Dix chercheurs et chercheuses INRAE ont été lauréats des prix 2021 de l'Académie d'agriculture de France.

Parmi eux, le **Prix scientifique de la Fondation Xavier Bernard** est décerné à **Béatrice Denoyes** (unité Biologie du fruit et pathologie). Il salue sa capacité à animer un programme de recherche sur le



Béatrice  
Denoyes



Dominique  
Desbois



Marie-Hélène  
Wagner



Anne-Lise  
Boixel



Margot  
Leclère



Hélène  
Fargeon



Laëtitia  
Cardona



Loïc  
Mazenc



## Une communication qui se déploie

En 2021, les activités de communication d'INRAE se sont poursuivies à un rythme toujours plus soutenu avec la levée des contraintes sanitaires et la création de nouveaux supports (newsletter, podcast, revue). L'ensemble des thématiques en a bénéficié, positionnant l'institut comme une référence sur ses piliers, agriculture, alimentation et environnement.



### Développer la culture commune INRAE, enjeu de communication interne

Un an après la fusion Inra-Irstea, la semaine d'Accueil des nouveaux arrivants (ADN) a pu se tenir en présentiel et a mobilisé près de 300 agents dans toute la France, permettant de leur donner un socle minimal d'informations organisationnelles, scientifiques ou encore historiques de l'EPST et de contribuer à la création d'une culture commune. Par ailleurs l'engouement des agents pour la Semaine européenne de réduction des déchets (SERD) et ses animations nationales et locales a accompagné l'engagement de l'institut en faveur de la RSE.



### La reprise d'une communication externe et événementielle plus marquée

Après une pause contrainte, l'activité événementielle a repris à la fin du premier semestre 2021 pour atteindre une forte intensité dès septembre. Ainsi, après une participation exclusivement digitale à la Semaine de l'agriculture en mai, INRAE a renoué avec le public en juin, à l'occasion des Journées nationales de l'agriculture, en ouvrant à la visite 6 de ses sites expérimentaux. En septembre, c'est à Marseille, au Congrès mondial de la nature organisé par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) et le gouvernement français que les chercheurs ont présenté leurs travaux au public sous le « dôme de la biodiversité ». En novembre, l'exposition Banquet, dont INRAE est partenaire scientifique de référence, ouvrait ses portes pour un an à la Cité des sciences à Paris. Enfin 2021 a été marqué par une première participation réussie au salon professionnel Pollutec, à Lyon, qui a mis en valeur les recherches sur la gestion de l'eau et les risques naturels.

2021 a également été une belle occasion pour INRAE de rappeler son engagement et son amour pour la planète bleue avec un film court diffusé sur les réseaux sociaux atteignant une audience remarquable de plus d'un million de twittos, grâce à la complicité de Thomas Pesquet.







## Des relations avec les médias en continu et adaptées au contexte pandémique

INRAE a poursuivi ses relations continues avec la presse, en s'appuyant notamment sur un format de conférence de presse digitale (8 dans l'année) adapté au contexte pandémique, en coordination des partenaires pour 2 d'entre elles (acclimatation de la culture de la truffe blanche en France avec les pépinières Robin et résultats précliniques du vaccin anti-Covid-19 à administration nasale avec l'université de Tours). Sur une année dominée médiatiquement par les sujets liés à la Covid-19, une grande partie des 20 000 retombées d'INRAE dans la presse relevait des thématiques alimentation/santé humaine et santé de l'environnement. Globalement la visibilité d'INRAE dans les médias progresse de 15 %, grâce notamment aux interventions des chercheurs et chercheuses fortement sollicités (+80 %) par les médias audiovisuels pour éclairer l'actualité.



## Une newsletter, une revue et des podcasts

INRAE a complété son offre de communication avec 3 nouveaux supports en 2021. Tout d'abord avec une newsletter digitale mensuelle sur son actualité scientifique et institutionnelle pour les partenaires économiques, politiques, sociaux et scientifiques. Par ailleurs, la revue *Ressources* (3 numéros par an) a été conçue pour apporter des repères et présenter les solutions de la science sur des sujets sociétaux (revue accessible à tous sur le site internet et en édition papier avec un tirage limité). Enfin, la série de podcasts *La boucle est bouclée* a été conçue pour permettre une immersion au cœur de la science avec les chercheurs INRAE.





# Instances et chiffres

Manipulation dans un L3 (laboratoire de niveau 3) dans l'unité  
Virologie et immunologie moléculaires à Jouy-en-Josas.  
Centre de recherche Île-de-France-Jouy-en-Josas-Antony  
©INRAE - B. Nicolas





## Instances



### Conseil d'administration

Composition au 31 décembre 2021

#### Président

Philippe MAUGUIN, président d'INRAE

#### Représentants de l'Etat

- Valérie BADUEL, directrice générale de l'Enseignement et de la recherche, ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation (MAA)
- Bénédicte HERBINET, sous-directrice de la recherche et de l'innovation et des coopérations internationales, DGER-MAA (suppléante)
- Cyril MOULIN, adjoint au chef du service de la Stratégie de la Recherche et de l'Innovation (DGRI/SSRI), ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation (MESRI)
- Lise FECHNER, service de la Stratégie de la Recherche et de l'Innovation, adjointe à la directrice scientifique du secteur « Environnement, Agronomie, Ecologie, Sciences du Système Terre et de l'Univers », DGRI-MESRI (suppléante)
- Diane SIMIU, directrice adjointe au commissaire général au Développement durable, Commissariat général au développement durable (CGDD)
- Thierry COURTINE, chef du service de la recherche et de l'innovation, ministère de la Transition écologique (suppléant)
- Agathe ROLLAND, cheffe du bureau de la recherche et de l'enseignement supérieur à la direction du Budget, ministère de l'Action et des Comptes publics

#### Représentants d'établissements publics ayant une mission d'enseignement supérieur ou de recherche

- Elisabeth CLAVERIE DE SAINT-MARTIN, présidente-directrice générale du Cirad
- François ROCHE-BRUYN, directeur général d'AgroSup Dijon

#### Personnalités choisies en fonction de leurs compétences dans les secteurs de l'agriculture, de l'environnement et de l'alimentation

- Paul-Joël DERIAN, directeur général Innovation, Recherche et Développement durable
- François ENGUEHARD, directeur des centres de Recherche de Véolia
- Anne-Claire VIAL, présidente de l'Acta-les instituts techniques agricoles

#### Au titre de la représentation du monde du travail et de l'économie

- Dominique CHARGE, président de la Coopération agricole
- Annabel FOURY, secrétaire nationale FGA-CFDT

#### Personnalités choisies parmi les représentants d'associations agréées de défense des consommateurs et d'associations agréées de protection de l'environnement

- Marie-Claude FOURRIER, responsable du bureau consommation, Association nationale de défense des consommateurs et usagers
- François LETOURNEUX, président d'honneur du Comité français de l'Union internationale pour la conservation de la nature

#### Représentants élus du personnel de l'établissement

##### Titulaires

Dominique DESBOIS, CFDT  
 Elisabeth TABONE, CFDT  
 Pascale MAILLARD, CGT  
 Eric LATRILLE, CGT  
 Baptiste HAUTDIDIER, SUD  
 Recherche EPST

##### Suppléants

Anne DE LA FOYE, CFDT  
 Jean-Marc BONNEFOND, CFDT  
 Michel BERTRAND, CGT  
 Laurence ARTIGE, CGT  
 Fabrice GUIZIOU, SUD Recherche  
 EPST



## Conseil scientifique

Composition au 31 décembre 2021

### Président

Philippe GILLET, professeur à l'EPFL (Suisse)

### Membres INRAE

- Philippe MAUGUIN, président-directeur général d'INRAE
- Carole CARANTA, directrice générale déléguée à la science et l'innovation

### Membres de droit

- Ministère en charge de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation : Lise FECHNER, titulaire, ou Alain LAGRANGE, suppléant
- Ministère en charge de l'Agriculture : Marion BARDY, sous-directrice adjointe de la recherche, de l'innovation et de la coopération internationale, ou Sofia MLALA, suppléante
- Ministère en charge de l'Environnement : Gwenaëlle HELLO, sous-direction de la recherche, titulaire, ou Céline COUDERC-OBERT, suppléante

### Membres nommés

*Par arrêté en date du 9 novembre 2020, les ministres en charge de l'Agriculture et de la Recherche ont nommé les personnes suivantes*

- Philippe GILLET, professeur à l'EPFL (Suisse), assure la présidence du Conseil scientifique
- Valérie ARCHAMBAULT, directrice adjointe de la Recherche, en charge des partenariats industriels à MINES ParisTech-PSL
- Sylvie BAUDINO-CAISSARD, directrice du laboratoire Biotechnologies végétales, université de Saint-Etienne
- Antoine BAULE, directeur général de Lesaffre et compagnie
- Patrick CARON, vice-président délégué aux Relations internationales de l'université de Montpellier
- Jérôme CHAVE, directeur adjoint de l'UMR Evolution et diversité biologique, CNRS/UPS de Toulouse
- Cécile CLAVEIROLE, responsable politique des questions agricoles de France Nature Environnement
- Anne-Charlotte DOCKES, responsable du département Métiers de l'élevage et société de l'Institut de l'élevage
- Thierry DORE, responsable de la politique recherche de l'université Paris-Saclay
- Sophie DUBUISSON-QUELLIER, directrice de recherche CNRS, directrice adjointe du Centre de sociologie des organisations
- Teresa FERREIRA, professeur au département des ressources naturelles de l'université de Lisbonne (Portugal)

- Elisabeth GRAF-PANNATIER, membre de l'état-major de la direction de l'Institut fédéral de recherche WSL de Birmensdorf (Suisse)
- Sophien KAMOUN, professeur au Sainsbury Laboratory, université de Norwich (Royaume-Uni)
- Thierry LEFRANCOIS, directeur du département Systèmes biologiques-BIOS du Cirad
- Xavier LITRICO, directeur Recherche et Scientifique du Groupe SUEZ
- Eveline VOLCKE, professeur en génie des procédés à l'université de Gand (Belgique)

### Membres INRAE élus

Secteur 1 : Agroécosystèmes, Mathématiques et numériques

Wolfram LIEBERMEISTER (titulaire)

Marie-Anne LAUNAY (suppléante)

Secteur 2 : Ecologie et biodiversité, Ecosystèmes aquatiques, ressources en eau et risques

Philippe ROZENBERG (titulaire)

Christelle GRAMAGLIA (suppléante)

Secteur 3 : Biologie et amélioration des plantes, Groupe d'étude et de contrôle des variétés et des semences

Juliette SALVAING (titulaire)

Denis LECLERCQ (suppléant)

Secteur 4 : Santé des plantes et environnement

Benoit FACON (titulaire)

Louise VAN OUDENHOVE (suppléante)

Secteur 5 : Aliments, Produits biosourcés et déchets

Nathalie GONTARD (titulaire)

Thierry BENEZECH (suppléant)

Secteur 6 : Physiologie animale et systèmes d'élevage

Denise AUBERT (titulaire)

Christophe GAUTHIER (suppléant)

Secteur 7 : Génétique animale, Santé animale

Claude CHARVET (titulaire)

Sandrine TRUCHET (suppléante)

Secteur 8 : Alimentation humaine, Microbiologie et chaîne alimentaire

Jean-Paul LALLES (titulaire)

Emmanuelle MAGUIN (suppléante)

Secteur 9 : Economie et sciences sociales, action, transitions et territoires

Marie THIOULET-SCHOLTUS (titulaire)

Vincent MARTINET (suppléant)

Secteur 10 : Appui à la recherche

Christine CHARLOT (titulaire)

Bruno COTTE (suppléant)



### Observateurs syndicaux

Chaque organisation syndicale représentée au comité technique de l'Institut peut désigner un représentant pour assister aux réunions du conseil scientifique en qualité d'observateur.

CFDT : Dominique DESBOIS

CFTC : Bruno PONTOIRE

CGT : Jean-Louis DURAND

SUD : Cyril DUTECH



## Les Commissions scientifiques spécialisées (CSS) et leurs présidents

CSS N°1 - Agronomie, Élevage, Forêt  
Eric MALEZIEUX

CSS N°2 - Biologie des interactions hôtes-agresseurs, Symbiotes et Commensaux  
Daniel BARTHELEMY

CSS N°3 - Biologie intégrative des plantes  
Emmanuel GUIDERDONI

CSS N°4 - Écologie, Biologie des populations et Dynamique des écosystèmes  
Philippe USSEGLIO-POLATERA

CSS N°5 - Génétique végétale et animale  
Pierre BOUDRY

CSS N°6 - Mathématiques, Informatique, Sciences et Technologies du numérique, Intelligence artificielle et robotique  
Etienne BIRMELE

CSS N°7 - Microbiologie, Ecosystèmes microbiens, Systèmes agro-alimentaires, Biotechnologies  
Christophe JUNOT

CSS N°8 - Nutrition et Toxicologie  
Christophe MAGNAN

CSS N°9 - Biologie animale  
Claude DUCHAMP

CSS N°10 - Sciences de l'environnement : Terre, Eau et Atmosphère  
Anne-Catherine FAVRE

CSS N°11 - Sciences et Ingénierie des aliments, des matériaux, produits biosourcés et Ressources d'origine résiduaire  
Etienne PAUL

CSS N°12 - Sciences économiques, sociales et de gestion  
Jean-Philippe TROPEANO

CSS N°13 - Soutien et Pilotage de la recherche  
Philippe MAUGUIN



## Comité d'éthique consultatif commun INRAE - Cirad - Ifremer - IRD

### Composition du Comité d'éthique

**Michel BADRÉ**, président du Comité d'éthique  
Ingénieur Ecole Polytechnique-Ecole nationale du génie rural, des eaux et des forêts. Membre du Conseil économique, social et environnemental, au titre du groupe des associations environnementales.

**Bernadette BENSAUDE-VINCENT**, vice-présidente du Comité d'éthique  
Professeure émérite à l'université Paris 1 Panthéon-Sorbonne, agrégée de philosophie et docteure ès lettres et sciences humaines.

**Madeleine AKRICH**, directrice de recherche et ingénieure à l'Ecole des Mines de Paris (Centre de sociologie de l'innovation) et docteure en socioéconomie de l'innovation.

**Céline BOUDET**, Ineris, coordinatrice scientifique, spécialiste de l'analyse des risques dans le domaine santé et environnement (épidémiologie, toxicologie, biostatistiques...).

**Catherine BOYEN**, directrice de recherche au CNRS, docteure en biologie végétale, directrice de la Station biologique de Roscoff-Centre de recherche et d'enseignement en biologie et écologie marines, Sorbonne université-CNRS (biologie marine, algues, génomique, évolution, microbiome, biodiversité marine et biotechnologie marine).

**Denis COUVET**, professeur au Muséum national d'histoire naturelle, président de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité, professeur associé à l'université de Lausanne et à SciencesPo Paris, ingénieur agronome, docteur en sciences de l'évolution et écologie.

**Mireille DOSSO**, directrice de l'Institut Pasteur de Côte d'Ivoire, professeure de microbiologie.

**Mark HUNYADI**, professeur de philosophie sociale et politique à l'université catholique de Louvain ; professeur associé à l'Institut des Mines-Télécom Paris et à l'EHESS ; membre du Comité éthique d'Orange ; membre du Comité d'orientation et du Comité de pilotage du Forum Vies Mobiles.

**Youba SOKONA**, professeur, 40 années d'expérience dans le domaine de l'eau, de l'énergie, de l'environnement et du développement durable en Afrique. Participation aux travaux du GIEC dès 1990 ; élu vice-président en octobre 2015. Successivement cofondateur du

Programme énergie d'ENDA-TM, secrétaire exécutif de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) et coordinateur de African Climate Policy Centre (ACPC). Jusqu'en 2020, conseiller principal pour le développement durable au South Centre. Membre de l'Académie africaine des sciences.

**Marie-Geneviève PINSART**, philosophe, professeure à l'Université libre de Bruxelles-Pôle de recherche en éthique appliquée. Membre du Comité consultatif d'éthique pour la recherche en partenariat (CCERP) de l'IRD.

**Louis-Etienne PIGEON**, philosophe en éthique environnementale, docteur en philosophie diplômé de la faculté de philosophie et chargé d'enseignement à l'université de Laval (Canada).

**Pere PUIGDOMENECH**, professeur de recherche au CSIC (Conseil supérieur de la recherche scientifique en Espagne) au sein de l'Institut de biologie moléculaire de Barcelone, spécialisé en biologie moléculaire des plantes, docteur en sciences biologiques.

**Hervé THÉRY**, géographe, professeur associé à l'université de São Paulo (Brésil), directeur de recherche émérite au CNRS.

### Secrétariat commun

**INRAE** : Christine CHARLOT, secrétaire générale, avec l'appui de Nathalie HERMET

**Cirad** : Philippe FELDMANN, Marie DE LATRE-GASQUET

**Ifremer** : Philippe GOULLEQUER, Marianne ALUNNO-BRUSCIA

**IRD** : Chloé DESMOTS



## Effectifs ressources humaines et budget

8 197

agents titulaires  
(ETPT)\*

50,4 %  
4 128 femmes

49,6 %  
4 069 hommes

2 005 chercheurs

3 175 ingénieurs

3 017 techniciens

3 005

contractuels  
(ETPT)

787  
doctorants  
(dont 200 étrangers)

132  
post-doctorants  
(dont 78 étrangers)

2 443  
stagiaires  
(dont 329 étrangers)

\*ETPT : équivalent temps plein travaillé.  
Prend en compte la quotité de temps  
(temps partiel ou pas) et la période  
de travail (une année ou moins).

Subvention pour charge  
de service public

812,6 M€

Ressources propres

235,9 M€

Ressources propres contractuelles

164,3 M€

ANR	41,1
PIA	18,7
Autres établissements publics	15,0
Collectivités territoriales	18,1
Europe	28,1
Ministères	9,0
Organ. de rech. et d'enseignement sup.	6,8
Partenaires socioéconomiques	27,7

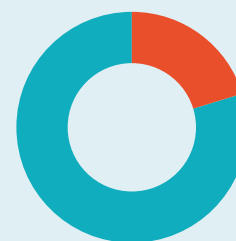
Ressources propres non contractuelles

71,5 M€

Subventions affectées	6,0
Dons et legs	0,1
Redevance pour brevets, licences	5,2
Prestations de services	17,9
Ventes de produits	17,4
Autres subventions	8,5
Autres produits de gestion courante	7,5
Produits financiers et exceptionnels	9,0

Ressources 2021

1 048,5 M€



77,53 %

Subvention pour charge  
de service public

22,47 %

Ressources propres





## Partenariat et innovation

### Partenariats socioéconomiques

Nouveaux contrats de partenariats avec des partenaires socioéconomiques **408**

Nombre de dispositifs de partenariats avec des partenaires socioéconomiques **29** Unités mixtes technologiques (UMT)  
**5** Instituts Carnot  
**5** Labcom  
**5** LPA

### Propriété intellectuelle

Déclarations d'invention et de résultats valorisables **140**

Demandes de brevets déposées **30**

Familles de brevets en portefeuille **405**

Nouveaux certificats d'obtention végétale (COV) **20**

Variétés inscrites à un catalogue officiel et/ou protégées en portefeuille **425**

### Valorisation

Nouveaux accords de valorisation (licence, option, etc.) sur brevet, savoir-faire, logiciel, marque, modèle **46**

Licences en portefeuille **640**

Nouvelles licences sur COV **19**

Licences sur COV en portefeuille **1 128**

### Prématuration

Financement réparti sur 16 projets **700k€**

### Création d'entreprises

Création d'entreprises à partir de résultats INRAE **6**

### Recettes

Contrats de recherche avec les partenaires socioéconomiques **27,7 M€**

Licences sur les certificats d'obtention végétale (COV) **3 029 k€**

Licences sur brevets et savoir-faire **1 966 k€**



## Filiales



Fondées en 2006 par l'Inra, Irstea (réunis en INRAE depuis), le Cirad et l'Ifremer, les éditions Quæ sont devenues le premier éditeur scientifique public et français. Elles disposent d'un catalogue de plus de 1 000 titres en langues française et anglaise à destination d'un public scientifique et professionnel, et plus largement d'un public intéressé par les enjeux sociétaux liés aux travaux de ces instituts. Engagée fortement dans le libre accès (open access) depuis 2018, la maison d'édition a élargi son cercle de diffusion à une communauté internationale francophone ou anglophone. Son catalogue se compose ainsi d'ouvrages en libre accès et d'ouvrages payants en format papier, certains se déclinant sur les 2 formats pour une offre freemium.

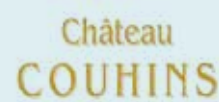


*Transformer ensemble les innovations pour le bien-être de la planète et des humains*

En tant que filiale, INRAE Transfert développe des activités visant à accompagner INRAE dans la mise en œuvre de sa politique de transfert, d'une part, et de projets européens, d'autre part.

Ses missions sont orientées vers l'ingénierie de projets complexes et le management de transferts de technologies dans les domaines de l'agriculture, de l'alimentation et de l'environnement et concernent :

- le transfert des résultats de la recherche aux entreprises ;
- le soutien à la création d'entreprises innovantes ;
- l'animation et la gestion des Instituts Carnot ;
- le montage, la négociation et la gestion de projets européens ;
- des activités de RDI au sein de démonstrateurs et de plateformes ;
- des prestations technologiques et d'intelligence économiques pour des tiers.



La SAS Château Couhins, situé dans le vignoble bordelais et propriété d'INRAE, poursuit le travail engagé il y a plus de 20 ans vers une production viti-vinicole de qualité plus respectueuse de l'environnement et des hommes, à travers sa conversion en cours en agriculture biologique. Le premier millésime 100 % bio sortira ainsi du chai en 2022. Le domaine continue par ailleurs son ambitieux développement avec l'objectif de déployer *in situ*, à l'échelle large d'une exploitation, les résultats des travaux d'INRAE en matière d'agroécologie.



Fondée en 1983, Agri Obtentions, filiale d'INRAE, est un semencier français multispèce dont le cœur de métier est l'innovation variétale. Très engagé dans la transition agroécologique, Agri Obtentions a pour objectif de proposer des solutions nouvelles aux agriculteurs en cohérence avec leurs pratiques. Précurseur dans l'offre de variétés adaptées à l'agriculture biologique, Agri Obtentions propose une large gamme de semences aussi bien en céréales qu'en protéagineux, sarrasins, lentilles et fourragères. De même, il propose une gamme de variétés adaptées aux associations et aux mélanges d'interculture et est impliqué dans l'innovation en potagères.

En quelques chiffres :

- 15 M€ de chiffre d'affaires (CA) réalisé en France et en Europe
- 30 % du CA investi en recherche et développement
- Plus de 400 licences
- 10 groupes d'espèces et plus de 450 variétés diffusées





# Organisation INRAE

(Au 31 décembre 2021)

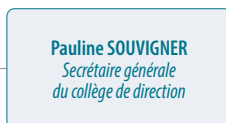


## COLLÈGE DE DIRECTION

### PRÉSIDENTE - DIRECTION GÉNÉRALE



### DIRECTEURS SCIENTIFIQUES



DIRECTIONS D'APPUI À LA RECHERCHE

<b>Benoît MALPAUX</b> <i>Responsabilité sociale et environnementale</i>	<b>Guy RICHARD</b> <i>Expertises scientifiques collectives, prospectives et études</i>	<b>Nicolas de MENTHÈRE</b> <i>Appui aux politiques publiques</i>
<b>Philippe LÉNÉE</b> <i>Partenariat et transfert pour l'innovation</i>	<b>Odile HOLOGNE</b> <i>Science ouverte</i>	<b>Frédéric GAYMARD</b> <i>Evaluation</i>
<b>Louis-Augustin JULIEN</b> <i>Financement et Achats</i>	<b>Guillaume PINGET</b> <i>Patrimoine et Immobilier</i>	<b>Françoise ROUDAUT</b> <i>Systèmes d'information</i>
<b>Pierre-Yves SAINT</b> <i>Appui au pilotage (DIAGONAL)</i>	<b>Cécile JANET</b> <i>Affaires juridiques</i>	<b>Marie-Claude PAULIEN</b> <i>Coordination des services déconcentrés de l'appui à la recherche</i>

DÉLÉGATIONS

<b>Françoise SIMON-PLAS</b> <i>Déontologie, Intégrité scientifique, Ethique des projets</i>	<b>Catherine BEAUMONT</b> <i>Parité et lutte contre les discriminations</i>
<b>Nathalie GANDON</b> <i>Informatique et Liberté</i>	<b>Stéphane AYMERICH</b> <i>Infrastructures de recherche</i>
<b>Christophe ROTURIER</b> <i>Sciences en société</i>	<b>David CAFFIER</b> <i>Sécurité biologique</i>

MISSIONS

<b>Nicolas BÉCARD</b> <i>Sécurité défense</i>
<b>Sylvie NUGIER</b> <i>Sécurité des systèmes d'information</i>
<b>Michaël CHELLE</b> <i>Transition numérique</i>
<b>Hadi QUESNEVILLE</b> <i>Administrateur des données scientifiques</i>

**Karine GUERITAT**  
*Administratrice du siège*

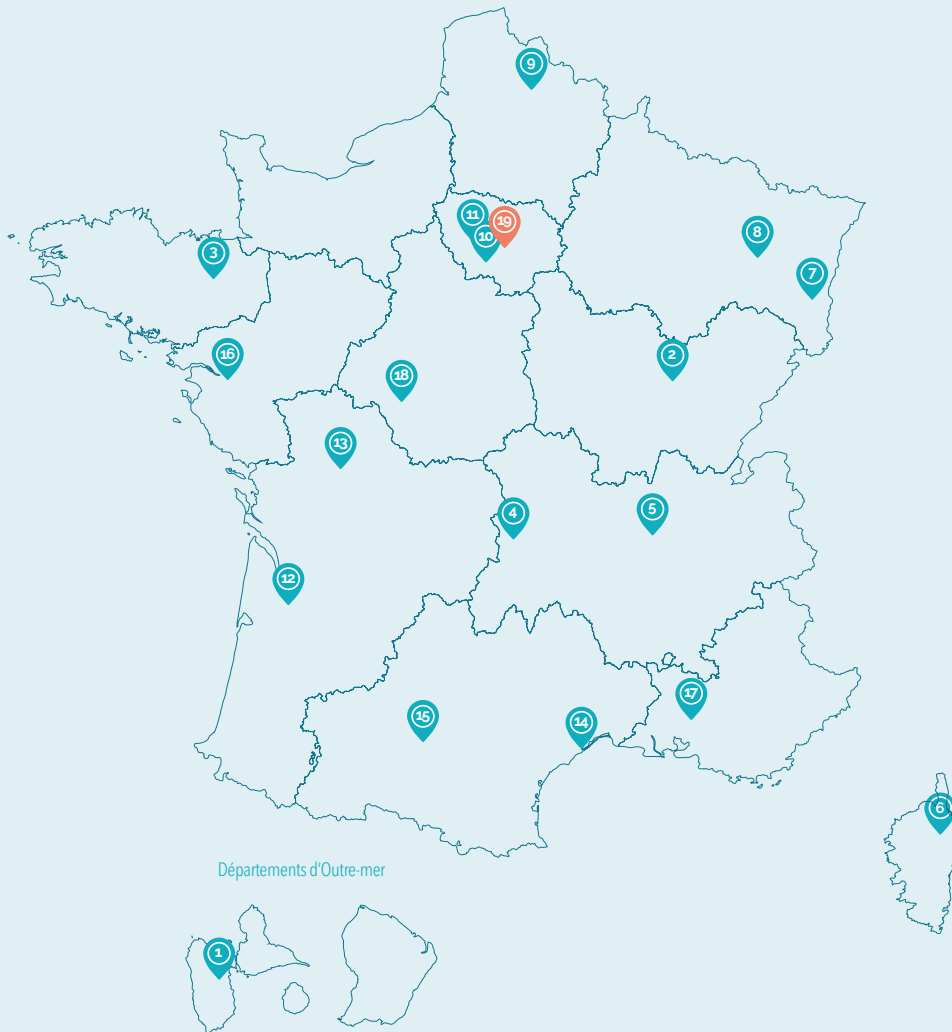
**Philippe MARTIN**  
*Agent comptable principal*



## Les 18 centres

(Au 31 décembre 2021)

18 centres de recherche traduisent l'implication d'INRAE au cœur des dynamiques régionales. Le centre siège bilocalisé complète le dispositif.

















- 1 Antilles-Guyane  
Président : Harry Archimède
- 2 Bourgogne-Franche-Comté  
Présidente : Nathalie Munier-Jolain
- 3 Bretagne-Normandie  
Présidente : Héléne Lucas
- 4 Clermont-Auvergne-Rhône-Alpes  
Président : Emmanuel Hugo
- 5 Lyon-Grenoble-Auvergne-Rhône-Alpes  
Président : Pascal Boistard
- 6 Corse  
Président : André Torre
- 7 Grand Est-Colmar  
Président : Serge Kauffmann
- 8 Grand Est-Nancy  
Présidente : Meriem Fournier
- 9 Hauts-de-France  
Président : Jean Tayeb
- 10 Île-de-France-Jouy-en-Josas-Antony  
Présidente : Nathalie Touze
- 11 Île-de-France-Versailles-Grignon  
Président : Egizio Valceschini
- 12 Nouvelle-Aquitaine-Bordeaux  
Président : Olivier Lavalie
- 13 Nouvelle-Aquitaine-Poitiers  
Président : Abraham Escobar-Gutierrez
- 14 Occitanie-Montpellier  
Président : Sylvain Labbé
- 15 Occitanie-Toulouse  
Président : Pierre-Benoit Joly
- 16 Pays de la Loire  
Présidente : Emmanuelle Chevassus-Lozza
- 17 Provence-Alpes-Côte d'Azur  
Président : Jean-Philippe Nabot
- 18 Val de Loire  
Président : Marc Guérin
- 19 **Centre-siège Paris-Antony**  
Administratrice : Karine Gueritat

100



## Les 14 départements de recherche

(Au 31 décembre 2021)

	<b>Action, transitions et territoires</b> Christophe SOULARD		<b>Génétique animale</b> Edwige QUILLET
	<b>Agroécosystèmes</b> Philippe HINSINGER		<b>Mathématiques et numérique</b> Hervé MONOD
	<b>Alimentation humaine</b> Lionel BRETILLON		<b>Microbiologie et chaîne alimentaire</b> Sylvie DEQUIN
	<b>Écosystèmes aquatiques, ressources en eau et risques</b> Mohamed NAAIM		<b>Physiologie animale et systèmes d'élevage</b> Françoise MÉDALE
	<b>Biologie et amélioration des plantes</b> Isabelle LITRICO-CHIARELLI		<b>Santé animale</b> Muriel VAYSSIER-TAUSSAT
	<b>Écologie et biodiversité</b> Catherine BASTIEN		<b>Santé des plantes et environnement</b> Marie-Hélène OGLIASTRO
	<b>Économie et sciences sociales</b> Pierre DUPRAZ		<b>Aliments, produits biosourcés et déchets</b> Michael O'DONOHUE

## Structures

  
**204**  
unités  
de recherche

  
**43**  
unités  
expérimentales

  
**24**  
unités  
de service





**INRAE**

## Rapport d'activité 2021



147, rue de l'université  
75338 Paris Cedex 7  
Tél. : +33 1 (0)1 42 75 90 00

Rejoignez-nous sur :



site internet national ou site internet du centre

# Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**INRAE**

